



TUGAS AKHIR - MO.141326

**ANALISA PENGARUH VARIASI SUDUT BEVEL AKIBAT
KOMBINASI PENGELASAN FCAW DAN SMAW TERHADAP
KEKUATAN *IMPACT BUTT JOINT* PADA SPESIMEN PIPA API 5L
GRADE X42**

Rizkiyah Ramadani

NRP. 4312 100 118

Dosen Pembimbing

Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.

Dr. Ir. Mochammad Zaed Yuliadi M.Sc

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya



FINAL PROJECT - MO.141326

**ANALYSIS THE EFFECT OF BEVEL ANGLE VARIATION IN
COMBINATION OF FCAW AND SMAW CONCERNING TO THE
IMPACT STRENGTH OF BUTT JOINT ON PIPE SPECIMEN API 5L
GRADE X42**

Rizkiyah Ramadani

NRP. 4312 100 118

Supervisors

Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.

Dr. Ir. Mochammad Zaed Yuliadi M.Sc

Department of Ocean Engineering

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016

**ANALISA PENGARUH VARIASI SUDUT BEVEL AKIBAT KOMBINASI
PENGELASAN FCAW DAN SMAW TERHADAP KEKUATAN *IMPACT BUTT*
JOINT PADA SPESIMEN PIPA API 5L GRADE X42**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

RIZKIYAH RAMADANI NRP. 4312 100 118

Disetujui oleh :

1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 1)



2. Dr. Ir. Moch. Zaed Yuliadi, M.Sc. (Pembimbing 2)

3. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D. (Penguji 1)

4. Murdjito, M.Sc., Eng (Penguji 2)

5. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc (Penguji 3)

6. Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T (Penguji 4)

SURABAYA, JULI 2016

**ANALISA PENGARUH VARIASI SUDUT BEVEL AKIBAT KOMBINASI
PENGELASAN FCAW DAN SMAW TERHADAP KEKUATAN *IMPACT BUTT*
JOINT PADA SPESIMEN PIPA API 5L GRADE X42**

Nama Mahasiswa : Rizkiyah Ramadani
NRP : 4312100118
Jurusan : Teknik Kelautan FTK- ITS
Dosen Pembimbing : 1. Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D
2. Dr. Ir. Mochammad Zaed Yuliadi M.Sc

Abstrak

Kekuatan sambungan las pada suatu konstruksi perlu diperhatikan dengan baik dan pengujian pun perlu dilakukan untuk mengetahui ketahanan bahan terhadap suatu beban. Dalam penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui serta menganalisa pengaruh sudut bevel dan kondisi optimal akibat kombinasi pengelasan FCAW dan SMAW terhadap kekuatan *impact butt joint* pada material pipa API 5L grade X42. Variasi sudut bevel yang digunakan adalah 60°, 40°, dan 0°. Pengujian *impact* merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba, khususnya dalam konstruksi bangunan lepas pantai dimana beban secara tiba – tiba sangat memungkinkan untuk terjadi. Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan bahwa nilai kekuatan *impact* pada sudut bevel 60° di bagian *weld* adalah sebesar 2.01 J/mm² dan bagian HAZ sebesar 2.08 J/mm². Pada sudut bevel 40° memiliki nilai pada bagian *weld* sebesar 2.10 J/mm² dan bagian HAZ sebesar 2.13 J/mm². Namun memiliki pengaruh yang jauh berbeda dengan sudut bevel 0° yaitu memiliki nilai *impact* terendah sebesar 1.72 J/mm² untuk bagian *weld* dan 1.13 J/mm² untuk bagian HAZ. Kondisi optimal pengaruh sudut bevel terhadap kekuatan *impact* adalah sudut 40°. Hal ini dikarenakan persentase *ferrite* metalografi struktur mikronya lebih banyak dibandingkan dengan sudut bevel 60° dan 0° dan juga memiliki nilai kekerasan yang rendah sehingga bersifat ulet menyebabkan nilai *impact*-nya lebih unggul. Selain itu efisiensi dalam segi penghematan waktu kerja, perkerja maupun biaya produksi lebih baik.

Kata Kunci : SMAW, FCAW, Sudut Bevel, Impact.

**ANALYSIS THE EFFECT OF BEVEL ANGLE VARIATION IN COMBINATION OF
FCAW AND SMAW CONCERNING TO THE IMPACT STRENGTH OF BUTT
JOINT ON PIPE SPECIMEN API 5L GRADE X42**

Name : Rizkiyah Ramadani
Reg. Number : 4312100118
Department : Ocean Engineering - ITS
Supervisors : 1. Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D
2. Dr. Ir. Mochammad Zaed Yuliadi M.Sc

Abstract

The strength of weld joint in a construction needs to be considered properly and testing is require to determine the resistance of material to load. This research aims to determine and analyze the effect of bevel angle and optimal conditions due to a combination of FCAW and SMAW concerning to the impact strength of butt joint on pipe API 5L Grade X42. The Variation of bevel angle are 60°, 40° and 0°. Impact test is an attempt to simulate the operating conditions of material that is frequently encountered in transport equipment or construction where the load does not always occur gradually but comes suddenly, especially in the construction of offshore where the load possible to suddenly arrived. From the result of this research , the impact strength at bevel 60° in the weld metal is 2.01 J/mm² and in HAZ is 2.08 J/mm². The value of bevel 40° in the weld is 2.10 J/mm² and in HAZ is 2.13 J/mm². However it has much different effect from Bevel 0° that is having lowest impact value 1.72 J/mm² in weld and 1.13 J/mm² in HAZ. Optimal conditions the effect of bevel angle to the impact strength is 40°. It is because the percentage of ferrite in microstructure of metallography more than the bevel angle of 60° and 0°, also has a low hardness values so the material is ductile causing higher value of impact. Besides efficiency in terms of saving time employment, worker and the production cost.

Key Words : SMAW, FCAW, Bevel, Impact

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT, karena atas berkat, rahmat, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar. Laporan tugas akhir ini berjudul **“Analisa Pengaruh Variasi Sudut Bevel Akibat Kombinasi Pengelasan FCAW dan SMAW Terhadap Kekuatan *Impact Butt Joint* Pada Spesimen Pipa API 5L Grade X42”**.

Tugas Akhir ini dibuat guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tujuan Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh sudut bevel serta mengetahui kondisi optimal variasi sudut bevel akibat kombinasi pengelasan FCAW dan SMAW terhadap kekuatan *impact butt joint* pada pipa API 5L Grade X42.

Semoga apa yang penulis kerjakan bermanfaat bagi masyarakat, perusahaan, pemerintah, maupun penulis sendiri. Serta semoga laporan yang penulis buat ini bisa dijadikan referensi atau pedoman untuk penelitian di bidang yang sama.

Dalam pembuatan Tugas Akhir ini, penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk melakukan yang terbaik. Namun penulis juga menyadari bahwa pada Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna kesempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, Juli 2016

Rizkiyah Ramadani

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan rasa syukur dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kehadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat, berkah dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibunda penulis tercinta, Ibu Hj. Nurhayati yang selalu memberikan dukungan moral maupun moril serta doa kepada penulis agar selalu diberi kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. M. Faris Aminuddin dan Fatih Abdurrahman, Selaku Adik – adik penulis serta seluruh keluarga besar penulis yang telah memberikan doa, dukungan, serta motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D., selaku dosen pembimbing satu penulis dan Dr. Ir. Mochammad Zaed Yuliadi, M.Sc., selaku dosen pembimbing dua penulis yang telah membimbing dan meluangkan waktunya selama pengerjaan tugas akhir ini.
5. Bapak Yoyok Setyo Hadiwidodo ST., MT., Ph.D, selaku dosen wali penulis
6. Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, ST., MT. selaku ketua jurusan Teknik Kelautan, semua bapak dan ibu dosen serta staf maupun karyawan Jurusan Teknik Kelautan.
7. Keluarga besar saudaraku Varuna L30-P52 angkatan 2012, yang telah menjadi angkatan yang luar biasa dan memotivasi baik suka maupun duka.
8. Bapak Edi Suprpto dan Mas Timur Aditya, Selaku *Welder* di PT PAL Indonesia yang telah membantu serta meberikan ilmunya kepada penulis selama melakukan penelitian tugas akhir di PT PAL Indonesia
9. Bapak Didi, Mas Agil, dan Mas Ergi, selaku teknisi Laboratorium Kontruksi dan Kekuatan Teknik Perkapalan, yang telah membantu serta meberikan ilmunya kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
10. Teman - teman seperjuangan tugas akhir di bidang pengelasan yaitu Safira Dwi Anggraeni dan Pandu Damay Putra.
11. Semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Proses Pengelasan	6
2.2.2 Baja	6
2.2.3 Pipa API 5L Grade X42	8
2.2.4 Penyambungan pada Pipa	10
2.2.4.1 Sambungan Las (<i>Butt Weld Joint</i>)	10
2.2.4.2 Sambungan Soket	11
2.2.4.3 Sambungan Ulir	11
2.2.5 Pengelasan FCAW	12
2.2.5.1 Karakter Mesin	13
2.2.5.2 Komponen – Komponen Mesin	14
2.2.5.3 Elektroda Las	16

2.2.6 Pengelasan SMAW	18
2.2.6.1 Sel Elektroda	21
2.2.7 Kampuh Las	22
2.2.8 Arus Pengelasan	23
2.2.10 Pengujian <i>Non Destructive Test</i> (NDT) <i>Radiography</i>	24
2.2.11 Metallografi	25
2.2.12 Pengujian <i>Impact</i>	26
2.2.12.1 Pengujian <i>Impact</i> Metode Charpy	27
2.2.12.2 Pengujian <i>Impact</i> Metode Izod	28
2.2.13 Uji Kekerasan (Vickers)	32
2.2.14 Struktur Mikro Daerah Las - Lasan	34
2.2.14.1 Daerah Logam Las	34
2.2.14.2 Daerah Pengaruh Panas atau <i>Heat Affected Zone</i> (HAZ)	34
2.2.14.3 Logam Induk	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	37
3.1 Skema Diagram Alir	37
3.1 Prosedur Penelitian	38
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Hasil NDT Radiografi	53
4.2 Hasil Foto Struktur Makro	54
4.3 Hasil Foto Struktur Mikro	56
A. Struktur Mikro Pada Weld Metal Sudut Bevel 60°	56
B. Struktur Mikro Pada HAZ Sudut Bevel 60°	56
C. Struktur Mikro Pada Weld Metal Sudut Bevel 40°	57
D. Struktur Mikro Pada HAZ Sudut Bevel 40°	58
E. Struktur Mikro Pada Weld Metal Sudut Bevel 0°	58
F. Struktur Mikro Pada HAZ Sudut Bevel 0°	59
4.4 Analisa Hasil Uji <i>Impact</i>	61
4.5 Analisa Hasil Pegujian Kekerasan (Vickers)	67
4.5.1 Analisa Hasil Pengujian Kekerasan (Vickers) Pada <i>Weld Metal</i>	67
4.5.2 Analisa Hasil Pengujian Kekerasan (Vickers) Pada HAZ	68

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....71

5.1 Kesimpulan71

5.2 Saran71

DAFTAR PUSTAKA.....73

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 *Butt Weld Joint*.....10

Gambar 2.2 Tipe – tipe Sambungan Pipa.....12

Gambar 2.3 Mesin Las FCAW.....14

Gambar 2.4 Kawat Las FCAW.....16

Gambar 2.5 Skema Peralatan Pengelasan SMAW.....18

Gambar 2.6 Detail Joint Pada Pengelasan.....23

Gambar 2.7 *Notch* dan Ukuran Spesimen untuk Pengujian *Impact* Metode Charpy.....28

Gambar 2.8 Perbedaan *Notch* untuk Uji *Impact* Metode Charpy dan Metode Izod.....29

Gambar 2.9 Alat Pengujian *Impact*.....31

Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir.....37

Gambar 3.2 Diagram Alir (Lanjutan).....38

Gambar 3.3 Material Pipa API 5L Grade X42 dengan kampuh I dan Sudut 0° Sebelum
di Las.....41

Gambar 3.4 Material Pipa API 5L Grade X42 dengan kampuh I dan Sudut 0° Setelah
di Las.....41

Gambar 3.5 Material Pipa API 5L Grade X42 dengan kampuh V dan Sudut 40° Sebelum
di Las.....43

Gambar 3.6 Material Pipa API 5L Grade X42 dengan kampuh V dan Sudut 40° Setelah
di Las.....43

Gambar 3.7 Material Pipa API 5L Grade X42 dengan kampuh V dan Sudut 60° Sebelum
di Las.....45

Gambar 3.8 Material Pipa API 5L Grade X42 dengan kampuh V dan Sudut 60° Sebelum di Las	45
Gambar 3.9 Spesimen Uji <i>Impact</i>	46
Gambar 3.10 Mesin pengujian Struktur Mikro	47
Gambar 3.11 Spesimen untuk Uji Mikro dan Makro	48
Gambar 3.12 Mesin Pengujian Kekerasan Mikro Vickers	49
Gambar 3.13 Alat Pengujian <i>Impact</i>	50
Gambar 4.1 Hasil Foto Struktur Makro Spesimen A (Sudut Bevel 60°)	54
Gambar 4.2 Hasil Foto Struktur Makro Spesimen A (Sudut Bevel 40°)	55
Gambar 4.3 Hasil Foto Struktur Makro Spesimen A (Sudut Bevel 0°)	55
Gambar 4.4 Foto Struktur Mikro pada <i>Weld Metal</i> Sudut Bevel 60° Perbesaran 400x	56
Gambar 4.5 Foto Struktur Mikro pada HAZ Sudut Bevel 60° Perbesaran 400x	56
Gambar 4.6 Foto Struktur Mikro pada <i>Weld Metal</i> Sudut Bevel 40° Perbesaran 400x	57
Gambar 4.7 Foto Struktur Mikro pada HAZ Sudut Bevel 40° Perbesaran 400x	58
Gambar 4.8 Foto Struktur Mikro pada <i>Weld Metal</i> Sudut Bevel 0° Perbesaran 400x	58
Gambar 4.9 Foto Struktur Mikro pada HAZ Sudut Bevel 0° Perbesaran 400x	59
Gambar 4.10 Proses Uji <i>Impact</i> Metode Charpy	61
Gambar 4.11 Hasil Patahan Spesimen Akibat Uji <i>Impact</i>	62
Gambar 4.12 Diagram Perbandingan Nilai <i>Impact Weld</i> dan HAZ	65
Gambar 4.13 Ketentuan Posisi Pengujian Kekerasan Vickers	67
Gambar 4.14 Diagram Pengaruh Sudut Bevel Pada <i>Weld Metal</i> Terhadap Nilai Kekerasan	68
Gambar 4.15 Diagram Pengaruh Sudut Bevel Pada HAZ Terhadap Nilai Kekerasan	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Tensile Requirement</i>	9
Tabel 2.2 Komposisi Kimia Pipa API 5L	9
Tabel 3.1 <i>Welding Procedure</i> untuk Sudut Bevel 0°	40
Tabel 3.2 <i>Welding Procedure</i> untuk Sudut Bevel 40°	42
Tabel 3.3 <i>Welding Procedure</i> untuk Sudut Bevel 60°	44
Tabel 4.1 Hasil Pengujian <i>Impact</i>	63
Tabel 4.2 Hasil Uji Kekerasan pada <i>Weld Metal</i>	67
Tabel 4.3 Hasil Uji Kekerasan pada HAZ.....	68

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	: Proses Pengelasan, Pemotongan Material dan Pemolesan
LAMPIRAN B	: Laporan Hasil Uji Radiografi
LAMPIRAN C	: Laporan Hasil Uji Impact
LAMPIRAN D	: Sertifikat Material Pipa API 5L Grade X42
LAMPIRAN E	: Laporan Hasil Uji Kekerasan (Vickers)
LAMPIRAN F	: Perhitungan Metalografi Struktur Mikro

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pengembangan teknologi di bidang konstruksi yang semakin pesat dan tidak dapat dipisahkan dari pengelasan karena mempunyai peranan penting dalam rekayasa dan reparasi logam. Pembangunan konstruksi dengan logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan unsur pengelasan khususnya bidang rancang bangun karena sambungan las merupakan salah satu pembuatan sambungan yang secara teknis memerlukan keterampilan yang tinggi bagi pengelasnya agar diperoleh sambungan dengan kualitas baik. Proses pengelasan biasanya digunakan untuk fabrikasi dalam aplikasi *engineering*, misalnya untuk pesawat terbang, otomotif, dan industri perkapalan (Gery, dkk. 2005), pipa saluran, dan lain sebagainya.

Pengelasan merupakan proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Menurut definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN), pengelasan adalah penyambungan logam dengan ikatan metalurgi atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Definisi lain menyatakan bahwa sebagai teknik penyambungan logam pengelasan pada dasarnya merupakan ikatan metalurgi pada sambungan antar logam paduan yang dilakukan pada keadaan lumer atau cair maka teknik pengelasan mempunyai kelebihan dibandingkan dengan sistem penyambungan logam yang lain seperti *keeling* (Okumura dan Wiryasumarto. 1994).

Menurut Cary (1989) banyaknya penggunaan proses penyambungan dengan pengelasan dikarenakan pelaksanaan relatif lebih cepat, lebih ringan, biaya yang murah dan bentuk konstruksi lebih variatif. Salah satu teknik pengelasan yang banyak dipakai untuk penyambungan pada konstruksi baja adalah las busur logam atau *Flux Cored Arc Welding* (FCAW). FCAW adalah salah satu jenis las listrik yang memasok *filler* elektroda secara mekanis terus ke dalam busur listrik yang terbentuk di antara ujung *filler* elektroda dan metal induk. Gas pelindungnya

menggunakan karbon dioksida CO₂, atau campuran CO₂ dengan argon. Sehingga pengelasan dapat dilakukan secara semi otomatis, maka dari itu memberi kenyamanan dalam pengoperasiannya dan memiliki keandalan yang tinggi (Song, dkk, 2003).

Selain pengelasan FCAW, jenis pengelasan lain yang sering digunakan adalah SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Dalam pengelasan ini, logam induk mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda berbungkus fluks dan permukaan benda kerja. Kombinasi pengelasan seperti ini banyak dilakukan agar hasil pengelasan pada material bahan dapat maksimal.

Proses pengelasan, pada dasarnya memiliki tujuh macam sambungan, yaitu: *butt joint, backing joint, T joint, Cross joint, overlap joint, corner joint, dan edge joint*. Sambungan - sambungan tersebut memiliki karakteristik sendiri-sendiri tergantung kondisi material yang dikerjakan. Maka untuk kualitas las yang baik harus dipilih jenis sambungan yang sesuai sudut tertentu agar nantinya mampu menerima beban statis, beban dinamis, atau keduanya.

Uji *impact* adalah pengujian DT (*Destructive Test*) dengan menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Pengujian *impact* merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Inilah yang membedakan pengujian *impact* dengan pengujian tarik dan kekerasan, dimana pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan. Pengujian *impact* merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba.

Dikarenakan kekuatan sambungan las sangat penting dalam pembangunan suatu material konstruksi khususnya pada bidang bangunan lepas pantai. Maka dalam tugas akhir ini akan dilakukan penelitian percobaan mengenai pengujian *impact* terhadap *butt joint* dengan variasi sudut bevel akibat kombinasi pengelasan FCAW (*Flux Cored Arc Welding*) dan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) pada spesimen pipa API 5L grade X42.

1.2. Perumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh kekuatan *impact* terhadap *butt joint* dengan sudut bevel 0° , 40° , dan 60° akibat kombinasi pengelasan FCAW dan SMAW pada spesimen pipa API 5L Grade X42 ?
2. Bagaimana kondisi optimal pengaruh variasi sudut bevel *butt joint* pada pengelasan kombinasi FCAW dan SMAW terhadap kekuatan *impact* spesimen API 5L Grade X42 ?

1.3. Tujuan

1. Mengetahui pengaruh kekuatan *impact* terhadap *butt joint* dengan sudut bevel 0° , 40° , dan 60° akibat kombinasi pengelasan FCAW dan SMAW pada spesimen API 5L Grade X42.
2. Mengetahui kondisi optimal pengaruh variasi sudut bevel *butt joint* akibat kombinasi pengelasan FCAW dan SMAW terhadap kekuatan *impact* terhadap spesimen API 5L Grade X42.

1.4. Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian dan percobaan (*experiment*) ini adalah untuk mengetahui kekuatan *impact* pada variasi sudut bevel *butt joint* akibat kombinasi pengelasan SMAW dan FCAW yang nantinya bisa digunakan sebagai bahan pertimbangan sebagai penentuan sudut sambungan las yg optimal agar material mampu menerima beban secara tiba – tiba.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah :

1. Jenis material yang digunakan adalah material pipa API 5L Grade X42.
2. Proses pengelasan menggunakan FCAW (*Flux Cored Arc Welding*) dan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) .
3. Tipe sambungan las adalah *butt joint* dengan posisi pengelasan 5G.
4. Pengelasan dilakukan tanpa adanya *pre heating* dan *post heating*.
5. Sudut bevel sambungan las yang digunakan adalah 0°, 40° dan 60°.
6. Temperatur pada uji *impact* menggunakan suhu ruang.
7. Pengelasan dilakukan di PT PAL INDONESIA (Persero).
8. Dilakukan Pengujian *Impact* pada spesimen material pipa di bagian *weld metal* dan HAZ
9. Dilakukan pengujian NDT (*Non Destructive Test*) berupa radografi.
10. Pengujian *Impact* dilakukan di Laboraturium konstruksi dan kekuatan Teknik Perkapalan FTK ITS
11. Pengujian NDT dilakukan di PT Robutech
12. Pengelasan dilakukan berdasarkan WPS (*Welding Procedure Specification*)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Gery, dkk. (2005), pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinyu. Proses pengelasan berkaitan dengan lempengan baja yang dibuat dari kristal besi dan karbon sesuai struktur mikronya, dengan bentuk dan arah tertentu lalu sebagian dari lempengan logam tersebut dipanaskan hingga meleleh. proses pengelasan biasanya digunakan untuk fabrikasi dalam aplikasi *engineering*, misalnya untuk pesawat terbang, otomotif, dan industri perkapalan.

ASME section IX (2001), dalam *rules* dan *codenya* menjelaskan bahwa proses pengelasan, pada dasarnya memiliki tujuh macam sambungan, yaitu: *butt joint*, *backing joint*, *T joint*, *Cross joint*, *overlap joint*, *corner joint*, dan *edge joint*. Sambungan - sambungan tersebut memiliki karakteristik sendiri-sendiri tergantung kondisi material yang dikerjakan. Sedangkan untuk posisi pengelasan ada beberapa jenis, yaitu: *flat*, *horizontal*, *vertical*, dan *overhead*. Pada bentuk sambungan pengelasan mempengaruhi kekuatan dan ketangguhan suatu konstruksi.

Widyanto (2014), dalam penelitiannya mengkaji analisa pengaruh variasi arus dan sudut kampuh pengelasan SMAW terhadap tegangan sisa pengelasan dan kekuatan mekanis sambungan baja karbon. Dari hasil penelitian terlihat bahwa semakin besar arus yang digunakan maka semakin besar pula tegangan sisa yang timbul selain itu sudut kampuh yang semakin besar juga menimbulkan tegangan sisa yang besar pula. Hal Ini disebabkan karena terjadinya distribusi panas yang tidak merata saat pengelasan.

Yuliadi (2012), dalam penelitiannya mengkaji mengenai strategi percepatan dan efisiensi pengelasan satu sisi (*one side welding*) dengan sudut bevel 40° pada plat lambung kapal. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa dengan pengaplikasiannya dapat berkontribusi terhadap percepatan pekerjaan pengelasan yang juga dapat menghemat akan penggunaan kawat las sehingga dapat menekan biaya produksi kapal.

2.2. Dasar Teori

2.2.1 Proses Pengelasan (*Welding Process*)

Menurut definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN), pengelasan adalah penyambungan logam dengan ikatan metalurgi atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Berdasarkan definisi tersebut, untuk pengelasan logam diperlukan energi panas yang cukup untuk mencairkan sebagian logam pada sambungan, apabila untuk menyambung memerlukan bahan tambah, maka bahan tambah juga harus mencair agar bersama – sama dengan logam dasar membentuk endapan las. Energi panas yang diperlukan untuk mencairkan sebagian bahan dasar dan bahan tambah dapat diperoleh dari bermacam – macam cara antara lain melalui pembakaran gas, busur listrik, resistansi listrik, gesekan dan lain sebagainya. Energi panas yang diberikan pada pengelasan hanya di satu tempat dan bergerak pada sumbu memanjang sambunga, sehingga logam dasar yang di-las akan menerima pemanasan dan pendinginan yang dapat mempengaruhi sifat – sifat logam. Bagian – bagian logam yang di-las sifatnya berubah karena terpengaruh oleh daerah yang terpengaruh panas atau *Heat Affected Zone* (HAZ).

2.2.2 Baja

Baja pada dasarnya adalah paduan besi dan karbon. Selain terdiri dari besi dan karbon, baja juga mengandung unsur lain. Sebagian berasal dari pengotoran bijih besi (misalnya belerang dan phosphor) yang biasanya

kadarnya ditekan serendah mungkin. Sebagian lagi unsur yang digunakan pada proses pembuatan besi/baja (misalnya silikon dan mangan). Selain itu, sering kali juga sejumlah unsur paduan sengaja ditambahkan ke dalam untuk memperoleh sifat tertentu sehingga jenis baja akan beragam (Zakharov, 1962).

Baja adalah paduan yang paling banyak digunakan manusia, jenis dan juga bentuknya sangat banyak. Karena penggunaannya yang sangat luas, maka berbagai pihak sering membuat klasifikasi menurut kebutuhan masing-masing. Ada beberapa cara mengklasifikasikan baja, di antaranya:

- Menurut penggunaannya: baja konstruksi, baja mesin, baja pegas, baja ketel, baja perkakas dan lainnya.
- Menurut kekuatannya: baja lunak, baja kekuatan tinggi.
- Menurut struktur mikronya: baja eutektoid, baja hypoeutektoid, baja hypereutektoid, baja ferritik dan lainnya.
- Menurut komposisinya: baja karbon, baja paduan rendah, baja paduan tinggi dan lainnya.

Menurut komposisi kimianya, baja dapat digolongkan menjadi dua, yaitu baja karbon (baja tanpa paduan) dan baja paduan. Baja karbon bukan berarti baja yang tidak mengandung sama sekali sejumlah unsur lain selain besi dan karbon. Baja masih mengandung unsur lain, tetapi masih dalam batas-batas tertentu yang tidak banyak berpengaruh terhadap sifatnya. Unsur-unsur ini biasanya merupakan ikatan yang berasal dari proses pembuatan baja/besi, seperti mangan dan silikon, dan beberapa unsur lain seperti belerang, phosphor, oksigen, nitrogen dan lainnya yang biasanya ditekan sampai kadar yang sangat kecil (Zakharov, 1962).

Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel/Mild Steel*) merupakan baja karbon yang mempunyai kadar karbon sampai 0,3%. Baja karbon rendah sangat luas penggunaannya, yaitu sebagai baja konstruksi umum untuk baja profil rangka bangunan, baja tulangan beton, rangka kendaraan, mur-baut,

pipa, pelat dan lain-lain. Strukturnya terdiri dari ferrit dan sedikit perlit sehingga kekuatan baja ini relatif rendah, lunak tetapi keuletannya tinggi, mudah di-bending dan di-*machining*. Baja ini tidak dapat dikeraskan (kecuali dengan pengerasan permukaan). Ada juga yang membagi kelompok ini, diantaranya adalah untuk kadar karbon yang sangat rendah, yaitu kurang dari 0,15% sebagai *dead mild steel*, yang biasanya digunakan untuk besi lembaran, besi ton, besi dtrip, dan lainnya (Zakharov, 1962).

Baja karbon menengah (*Medium Carbon Steel*) yang mempunyai kandungan karbon sebesar 0,3% - 0,7% masih terdiri dari ferrit dan perlit juga, tetapi dengan perlit yang cukup banyak. dengan kandungan perlit yang cukup banyak, baja karbon ini lebih kuat dan keras serta dapat dikeraskan akan tetapi akan membuatnya lebih getas. Baja karbon jenis ini banyak digunakan untuk konstruksi mesin, seperti poros, poros engkol, batang torak, roda gigi, pegas, dll. yang lebih memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang tinggi (Zakharov, 1962).

Baja karbon tinggi (*High Carbon Steel*) mempunyai kadar karbon lebih dari 0,7% yang bersifat lebih kuat dan lebih keras, tetapi keuletan dan ketangguhannya rendah. Baja jenis ini digunakan untuk konstruksi mesin yang membutuhkan kekuatan dan ketangguhan yang tinggi dan untuk perkakas yang memerlukan sifat tahan aus, misalnya untuk guntuing, mata bor, reamer dan perkakas yang lain (Zakharov, 1962).

2.2.3. Pipa Baja API 5L Grade X42

Pipa baja API 5L grade X42 merupakan jenis pipa dengan spesifikasi 5L adalah menunjukan jenis yang khusus digunakan untuk *offshore pipeline*. Dengan grade X42 menunjukkan pipa bawah laut ini mempunyai tegangan minimum yang di iijinkan sebesar 42.000 psi atau 290 MPa yang banyak dipakai pada struktur anjungan minyak bumi dan gas. Pipa baja API 5L grade X42 banyak digunakan pada pipa penyalur gas, air, dan minyak. Sebagai alat penyalur minyak yang efisien dan ekonomis pada dunia perminyakan.

Tabel 2.1. Tensile Requirement (API 5L, 2004)

Grade	Yield Strength (minimum)		Ultimate Tensile Stress (Minimum)	
	psi	Mpa	psi	Mpa
A25	25000	172	45000	310
A	30000	207	48000	331
B	35000	241	60000	414
X42	42000	290	60000	414
X46	46000	317	63000	434
X52	52000	359	66000	455
X56	56000	386	71000	490
X60	60000	414	75000	517
X65	65000	448	77000	531
X70	70000	483	82000	565

Tabel 2.2 .Komposisi Kimia Pipa API 5L (API 5L, 2004)

Grade	Carbon (max)	Manganese (max)	Phosphorus		Sulfur (max)	Titanium (Max)
			minimum	maksimum		
Seamless						
A25,C1 I	0.21	0.6	0.045	0.03	0.03	
A25,C1 II	0.21	0.6		0.08	0.03	
A	0.22	0.9		0.03	0.03	
B	0.28	1.2		0.03	0.03	0.04
X42	0.28	1.3		0.03	0.03	0.04
X52, X56	0.28	1.4		0.03	0.03	0.04
X60	0.28	1.4		0.03	0.03	0.04
X65, X70	0.28	1.4		0.03	0.03	0.06
Welded						
A25,C1 I	0.21	0.6	0,045	0.03	0.03	
A25,C1 II	0.21	0.6		0.08	0.03	
A	0.22	0.9		0.03	0.03	
B	0.26	1.2		0.03	0.03	0.04
X42	0.26	1.3		0.03	0.03	0.04
X52, X56	0.26	1.4		0.03	0.03	0.04
X60	0.26	1.45		0.03	0.03	0.04
X65, X70	0.26	1.65		0.03	0.03	0.06

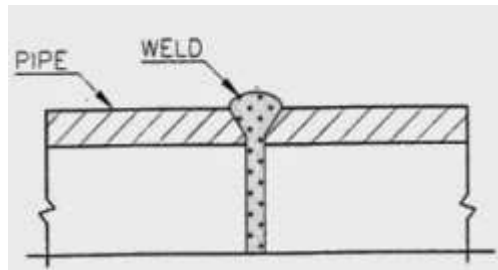
Berdasarkan **Tabel 2.2**, Pipa API 5L Grade X42 merupakan jenis baja karbon dengan kandungan karbon sebesar 0.28% (*low carbon steel*), 1.30 untuk kandungan magnesium, Fosforus dan sulfur sebesar 0.030 (*seamless*). Untuk (*welded*) kandungan karbon nya sebesar 0.26% (*low carbon steel*), magnesium 1.35, fosfor dan sulfur mempunyai nilai yang sama yaitu sebesar 0.030.

2.2.4 Penyambungan Pada Pipa

Pipa tidak seperti selang yang dapat dibeli berapa pun panjangnya. Satu potong pipa, istilahnya spool, harus disambung dengan spool lainya supaya dapat membentuk rotting yang kita inginkan. Natinya dapat membentuk sebuah jalur pipa yang kita rencanakan, sebuah sistem *piping* atau bahkan *pipeline*. Untuk menyambungkan pipa satu dengan yang lain biasanya kita mengenal dengan cara pengelasan. Namun, sambungan pipa satu dengan pipa lainya tidak hanya dengan pengelasan saja, terdapat beberapa macam jenis sambungan lain yang tentunya semua sambungan pipa tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing – masing. Adapun beberapa jenis sambungan pipa, yaitu :

2.2.4.1 Sambungan las (*butt weld joint*)

Tipe sambungan pipa jenis ini menggunakan pengelasan dan cocok untuk pipa yang berukuran besar, ketahanan atas kebocorannya cukup bagus, sambungannya dapat di cek kualitasnya menggunakan radiografi.



Gambar 2.1. *Butt Weld Joints*

(Sumber : <http://www.idpipe.com/2014/08/jenis-sambungan-antar-pipa.html>)

Namun kelemahannya, jenis sambungan akan mempengaruhi aliran fluida karena las-lasan yang berada di dalam pipa, tidak bisa kita kontrol atau kita bersihkan. Disamping itu, sebelum pipa kita sambung, dibutuhkan persiapan seperti membentuk *groove* terlebih dahulu. Jenis sambungan ini banyak digunakan dalam sistem perpipaan. Biasanya

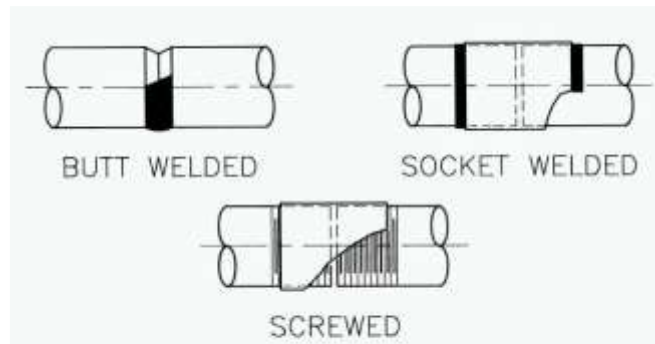
yang tidak menggunakan sambungan ini di *utility water*, misalnya untuk bersih bersih, karena di kawatirkan air akan tercampur logam dari lasan tersebut, bisa berbahaya bila airnya digunakan untuk mencuci muka.

2.2.4.2 Sambungan Soket (*socket weld pipe joint*)

Sambungan tipe ini menggunakan soket, artinya pipa yang satu lebih besar dari pipa yang lain, kemudian pipa yang kecil di masukan ke pipa yang diameternya lebih besar. Keuntungan sambungan soket adalah lebih mudah di paskan (*alignment*) daripada pengelasan karena sistem kerja sambungan ini hanya memasukan pipa ke pipa yang lain lalu keuntungan kedua adalah tidak ada material dari las di dalam pipa, jadi pipa ini bersih. Kelemahannya adalah pemasangan ini dimasukan dari pipa satu ke yang lain, jadi bisa terjadi celah diantara pipa. Hal ini dapat menyebabkan korosi, jadi untuk penggunaan pipa yang korosif tidak dapat memanfaatkan sambungan jenis ini.

2.2.4.3 Sambungan ulir (*screwed pipe joint*)

Pipa ledeng yang menggunakan ulir untuk merekatkan dua pipa. Keuntungan menggunakan sambungan ulir ini adalah mudah di aplikasikan di lapangan tetapi pengelasan tidak di ijinakan karena dapat menimbulkan bahaya kebakaran. Kerugiannya, sambungan bisa saja bocor kalau *seal* (perapat) yang digunakan tidak baik. Tidak dapat di gunakan untuk perlakuan yang korosif. Kekuatan pipa turun karena ulir sudah memakan ketebalan pipa.



Gambar 2.2. Tipe – Tipe sambungan pada pipa

(Sumber : <http://www.idpipe.com/2014/08/jenis-sambungan-antar-pipa.html>)

2.2.5 Pengelasan *Flux Cored Arc Welding* (FCAW)

Flux Cored Arc Welding (FCAW) merupakan las busur listrik fluk inti tengah atau pelindung inti tengah. Sumber energi pengelasan yaitu dengan menggunakan arus listrik AC atau DC dari pembangkit listrik atau melalui trafo dan atau *rectifier*. FCAW adalah salah satu jenis las listrik yang memasok filler elektroda secara mekanis terus ke dalam busur listrik yang terbentuk di antara ujung filler elektroda dan metal induk. Gas pelindungnya juga sama-sama menggunakan CO₂.

Flux Cored Arc Welding atau las busur berinti flux mirip dengan proses las GMAW, yaitu menggunakan elektroda solid dan tubular yang diumpankan secara kontinyu dari sebuah gulungan. Elektroda diumpankan melalui *gun* atau *torch* sambil menjaga busur yang terbentuk diantara ujung elektroda dengan *base metal*. FCAW menggunakan elektroda dimana terdapat serbuk *flux* di dalam batangnya. Butiran-butiran dalam inti kawat ini menghasilkan sebagian atau semua *shielding* gas yang diperlukan sehingga berlawanan dengan GMAW, dimana seluruh gas pelindung berasal dari sumber luar. FCAW bisa juga menggunakan gas pelindung tambahan, tergantung dari jenis elektroda, logam yang dilas, dan sifat dari pengelasan yang dikerjakan.

Ada dua jenis variasi FCAW yang memiliki kegunaan berbeda-beda tergantung dari metode gas pelindung, yaitu :

- a. *Gas Shielded* (FCAW-G) adalah perlindungan dengan dual gas, yaitu melindungi logam las yang mencair dengan menggunakan gas sendiri juga ditambah gas pelindung yang berasal dari luar sistem.
- b. *Self-shielded* (FCAW-SS) yaitu merupakan proses melindungi logam las yang mencair dengan menggunakan gas dari hasil penguapan atau reaksi dari inti fluks.

Kedua jenis pelindung di atas sama - sama menghasilkan terak las yang memadai untuk melindungi metal las yang akan beku. Perbedaannya terletak pada tambahan sistem pemasok gas dan *welding torch* (*welding gun*). Berdasarkan cara pengoperasiannya, FCAW dibedakan menjadi Semi otomatis dan otomatis.

Sifat-sifat utama (*Principal features*) FCAW dalam proses pengelasan :

- a. Produktivitas yang kontinu dari pasokan elektroda las
- b. Sifat metalurgi las yang dapat dikontrol dari pemilihan fluks
- c. Pembentukan manik las yang cair dapat ditopang oleh slag yang tebal dan kuat

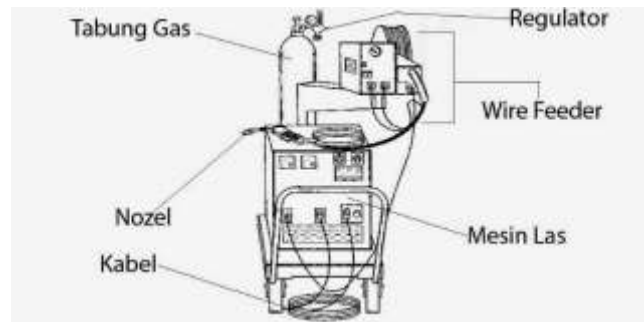
Pelindung gas umumnya menggunakan gas CO₂ atau campuran CO₂ dengan Argon. Namun dengan keberadaan oksigen kadang akan menimbulkan masalah baru yaitu dengan porositas yang dihasilkan reaksi CO₂ dan oksigen yang ada di udara sekitar lasan, sehingga perlu memilih fluks yang mengandung zat yang bersifat pengikat oksigen atau *deoxydizer*.

2.2.5.1 Karakter Mesin

Mesin las FCAW menurut arusnya dibedakan menjadi tiga macam yaitu mesin las arus searah atau *Direct Current* (DC), mesin las

arus bolak-balik atau *Alternating Current* (AC) dan mesin las arus ganda yang merupakan mesin las yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (DC) dan pengelasan dengan arus bolak-balik (AC). Mesin Las arus DC dapat digunakan dengan dua cara yaitu polaritas lurus dan polaritas terbalik. Mesin las DC polaritas lurus (DC-) digunakan bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas besar, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif dan logam induk dihubungkan dengan kutub positif, sedangkan untuk mesin las DC polaritas terbalik (DC+) digunakan bila titik cair bahan induk rendah dan kapasitas kecil, untuk pemegang fillernya dihubungkan dengan kutub positif dan logam induk dihubungkan dengan kutub negatif. Pilihan ketika menggunakan DC polaritas negatif atau positif adalah terutama ditentukan elektroda yang digunakan. Beberapa filler FCAW didesain untuk digunakan hanya DC- atau DC+. Filler lain dapat menggunakan keduanya DC- dan DC+.

2.2.5.2 Komponen-komponen Mesin

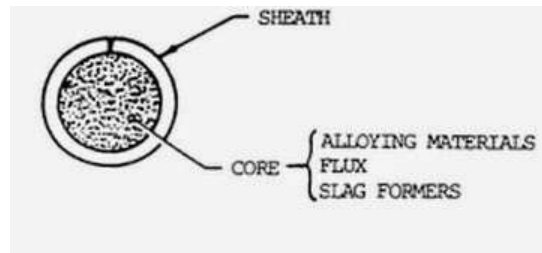


Gambar 2.3. Mesin las FCAW

(Sumber : <http://www.pengelasan.com/2015/04/pengertian-pengelasan-fcaw-flux-cored.html>)

- a. Tabung gas CO₂ : Tabung gas CO₂ adalah tabung yang digunakan sebagai tempat gas pelindung *wire* yang menggunakan gas karbon dioksida.
- b. Regulator : Regulator pada gas CO₂ berbeda dengan tabung gas pada umumnya karena pada bagian belakang regulator terdapat oven untuk memanaskan gas CO₂ karena gas CO₂ bersifat dingin, jika tidak dipanaskan maka akan terjadi penyumbatan pada saluran gas buang.
- c. Selang gas CO₂ : Selang gas CO₂ adalah alat penyalur gas CO₂ ke mesin.
- d. *Torch/ Gun* : *Gun* berfungsi sebagai alat penyalur gas buang dan kawat pada benda kerja serta sebagai penghantar massa.
- e. *Control box* : Digunakan untuk mengatur posisi, kecepatan, besar kecil ayunan, laju mesini *Gun/Torch* pada saat pengerjaan.
- f. *Welding wire* : *Wire* pada mesin FCAW berbeda dengan *wire* pada umumnya karena *wire* pada FCAW memiliki selaput pelindung yang melindungi hasil pengelasan dari kontaminasi udara luar.
- g. *Control system* : *Control system* adalah mesin yang digunakan untuk mengatur arus pada mesin FCAW otomatis.
- h. Kabel power: Kabel power adalah kabel yang menghubungkan antara mesin dan supply tenaga.
- i. Trafo : Digunakan untuk mengubah arus voltase pada supply tenaga untuk menggerakkan motor pada control box.
- j. Rail : Digunakan sebagaiudukan control box agar dapat melakukan pengelasan dengan jarak yang panjang.

2.2.5.3 Elektroda Las



Gambar 2.4. Kawat las FCAW

(Sumber : <http://www.pengelasan.com/2015/04/pengertian-pengelasan-fcaw-flux-cored.html>)

FCAW adalah salah satu jenis las listrik yang memasok filler elektroda secara mekanis terus ke dalam busur listrik yang terbentuk di antara ujung filler elektroda dan metal induk. Elektroda pada FCAW terbuat dari metal tipis yang digulung *cylindrical* , diisi dengan fluks sesuai kegunaannya. Pelindung dari proses pengelasan ini dari kemungkinan kontaminasi dari luar adalah dengan :

- a. Gas yang dihasilkan pada proses pengelasan
- b. Terak / *slag* yang dihasilkan cukup banyak karena berada pada inti elektroda
- c. Tambahan gas pelindung dari luar jika diinginkan.

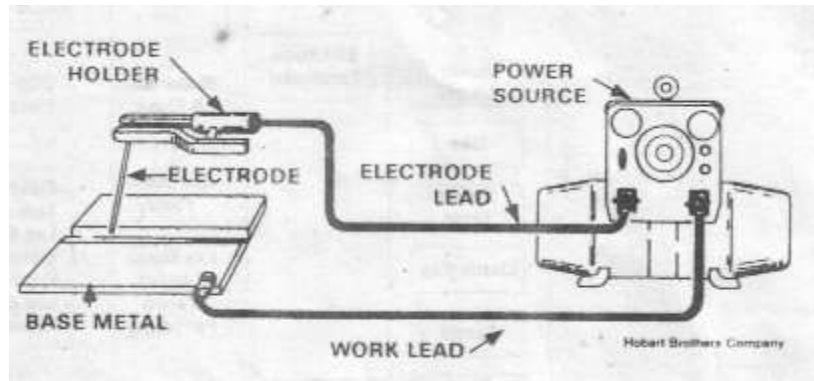
Proses FCAW pada dasarnya sama dengan GMAW dan yang menjadi pembeda utamanya adalah elektrodanya yang berbentuk tubular yang berisi fluks. Elektroda FCAW-G dapat digunakan untuk mengelas carbon steel, low alloy steel dan stainless steel. Berpedoman pada AWS, elektroda-elektroda yang digunakan pada pengelasan FCAW dibicarakan pada pasal 1.3.3. Pada pengelasan *carbon steel* dan *low alloy steel*, elektroda berinti flux yang banyak dipakai adalah dari jenis T-1 (*acid slag*), T-2 (*single pass welding*) dan T-5 (*basic slag*).

Elektroda T-1 memiliki sifat-sifat pengelasan bagus, tetapi *acid slag* tidak membantu menjaga logam las menjadi rendah hydrogen kecuali bila dibuat secara khusus. Hanya sejumlah tertentu elektroda berinti flux yang memenuhi syarat *low hydrogen* (kurang dari 10 ml/100 g logam las), dan ini adalah yang paling banyak tersedia dari jenis T-1. Elektroda tipe T-1 bisa digunakan baik dengan gas pelindung CO₂ ataupun campuran argon-CO₂. Elektroda T-1 akan memiliki busur lebih halus dan percikan las lebih sedikit bila menggunakan gas pelindung argon-CO₂, meskipun logam las mempunyai unsur Mn dan Si sedikit lebih tinggi. Elektroda EX1T-1 dibuat untuk pengelasan semua posisi dengan diameter hingga 1/16 inch. Pengelasan posisi vertikal umumnya dikerjakan dengan arah las naik.

Elektroda tipe T-2 dirancang untuk pengelasan single pass pada logam-logam berkarat, dan mempunyai deoxidizer Mn dan Si lebih tinggi. Elektroda T-2 ini tidak boleh digunakan untuk pengelasan multipass karena peningkatan unsur Mn dan Si menyebabkan tensile strength logam las yang tidak terlarut akan bertambah besar (lebih dari 100 ksi), sehingga menimbulkan masalah retak ketika sedang dilas atau pada kondisi pemakaian *sour service*.

Elektroda tipe T-5 mempunyai *basic slag* dengan kandungan hydrogen logam las lebih rendah dan memperbesar *impact properties* dan daya tahan terhadap retak yang memuaskan. Meskipun demikian, elektroda ini juga mempunyai sifat-sifat pengelasan lebih buruk dibandingkan dengan elektroda T-1. Saat ini elektroda T-1 terbaru sudah dikembangkan yang menggabungkan dua jenis elektroda yang paling baik, sehingga elektroda T-5 menjadi jarang dipakai lagi.

2.2.6 Pengelasan SMAW



Gambar 2.5. Skema peralatan pengelasan SMAW. (Okumura, 1994)

SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) yang juga disebut Las Busur Listrik adalah proses pengelasan yang menggunakan panas untuk mencairkan material dasar atau logam induk dan elektroda (bahan pengisi). Panas tersebut dihasilkan oleh lonjakan ion listrik yang terjadi antara katoda dan anoda (ujung elektroda dan permukaan plat yang akan dilas). Proses terjadinya pengelasan ini karena adanya kontak antara ujung elektroda dan material dasar sehingga terjadi hubungan pendek, saat terjadi hubungan pendek tersebut tukang las (*welder*) harus menarik elektroda sehingga terbentuk busur listrik yaitu lonjakan ion yang menimbulkan panas.

Pengelasan SMAW merupakan teknik pengelasan dengan memanfaatkan panas busur listrik yang timbul karena perbedaan tegangan antara elektroda terbungkus dengan material yang akan disambung. Gas pelindung timbul dari lapisan pembungkus elektroda yang terurai. Material pengisi berasal dari kawat elektroda dan pembungkusnya yang terdiri dari berbagai campuran serbuk halus.. Gambar skema peralatan las SMAW dapat dilihat pada Gambar 2.5. (Okumura, 1994). Logam induk dalam pengelasan ini mengalami

pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Busur listrik dibangkitkan dari suatu mesin las. Elektroda yang digunakan berupa kawat yang dibungkus pelindung berupa fluks. Elektroda ini selama pengelasan akan mengalami pencairan bersama dengan logam induk dan membeku bersama menjadi bagian kampuh las.

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus dan sebaliknya bila arus kecil maka butirannya menjadi besar.

Pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Logam mempunyai sifat mampu las yang tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda selama pengelasan mencair dan membentuk terak yang menutupi logam cair yang terkumpul di tempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi. Faktor yang mempengaruhi las adalah prosedur pengelasan yaitu suatu perencanaan untuk pelaksanaan penelitian yang meliputi cara pembuatan konstruksi las yang sesuai rencana dan spesifikasi dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut. Faktor produksi pengelasan adalah jadwal pembuatan, proses pembuatan, alat dan bahan yang diperlukan, urutan pelaksanaan, persiapan pengelasan. Meliputi : pemilihan mesin las, penunjukan juru las, pemilihan elektroda, dan pemilihan kampuh las.

Pengelasan berdasarkan klasifikasi cara kerja dapat dibagi dalam tiga kelompok yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian. Pengelasan cair adalah suatu cara pengelasan dimana benda yang akan

disambung dipanaskan sampai mencair dengan sumber energi panas. Cara pengelasan yang paling banyak digunakan adalah pengelasan cair dengan busur (las busur listrik) dan gas. Jenis dari las busur listrik ada 4 yaitu las busur dengan elektroda terbungkus, las busur gas (TIG, MIG, las busur CO₂), las busur tanpa gas, las busur rendam. Jenis dari las busur elektroda terbungkus salah satunya adalah las SMAW.

Mesin las SMAW menurut arusnya dibedakan menjadi tiga macam yaitu mesin las arus searah atau *Direct Current* (DC), mesin las arus bolak-balik atau *Alternating Current* (AC) dan mesin las arus ganda yang merupakan mesin las yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (DC) dan pengelasan dengan arus bolak-balik (AC), mesin Las arus DC dapat digunakan dengan dua cara yaitu polaritas lurus dan polaritas terbalik. Mesin las DC polaritas lurus (DC-) digunakan bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas besar, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif dan logam induk dihubungkan dengan kutub positif, sedangkan untuk mesin las DC polaritas terbalik (DC+) digunakan bila titik cair bahan induk rendah dan kapasitas kecil, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub positif dan logam induk dihubungkan dengan kutub negatif. Pilihan ketika menggunakan DC polaritas negatif atau positif adalah terutama ditentukan elektroda yang digunakan. Beberapa elektroda SMAW didisain untuk digunakan hanya DC- atau DC+. Elektroda lain dapat menggunakan keduanya DC- dan DC+.

Tidak semua logam memiliki sifat mampu las yang baik. Bahan yang mempunyai sifat mampu las yang baik diantaranya adalah baja paduan rendah. Baja ini dapat dilas dengan las busur elektroda terbungkus, las busur rendam dan las MIG (las logam gas mulia). Baja paduan rendah biasa digunakan untuk pelat-pelat tipis dan konstruksi umum (Wirjosumarto, 1994). Penyetelan kuat arus pengelasan akan

mempengaruhi hasil las. Bila arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan sukarnya penyalaan busur listrik. Busur listrik yang terjadi menjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan dasar sehingga hasilnya merupakan rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Sebaliknya bila arus terlalu tinggi maka elektroda akan mencair terlalu cepat dan akan menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan dari hasil pengelasan.

2.2.6.1 Sel Elektroda

Elektroda yang ada di pasaran biasanya dibungkus dengan campuran bahan-bahan fluks yang tergantung dari penggunaannya. Walaupun jenis elektroda sangat banyak jumlahnya, tetapi secara garis besar dapat digolongkan dalam kelas-kelas berikut yang pembagiannya didasarkan atas fluks yang membungkusnya. (Wiryosumarto, 1994) Jenis-jenis elektroda diklasifikasikan oleh beberapa standar, dan yang digunakan dalam penelitian ini adalah standar AWS D1.1 (*American Welding Society*). Menurut AWS klasifikasi elektroda dengan baja lunak untuk busur las listrik mempunyai kode E XXYZ, dimana :

E : Elektroda busur listrik

XX : Kekuatan tarik

Y : Posisi pengelasan

Z : Jenis arus pengelasan

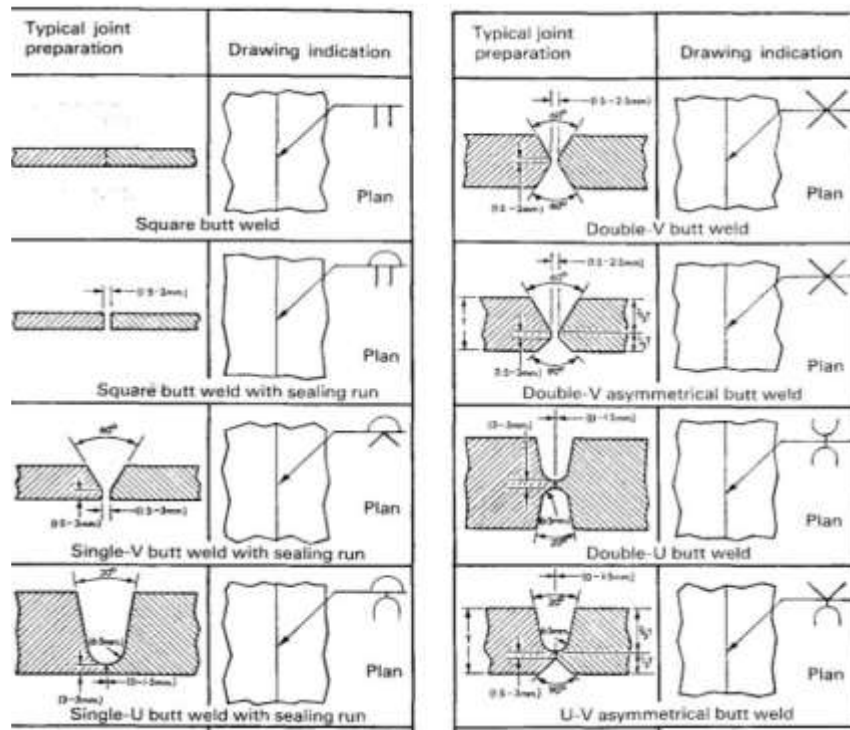
2.2.7. Kampuh Las

Untuk mempermudah dalam proses pengelasan, perlu adanya kampuh agar *filler* dapat mengisi logam induk yang akan disambung. Kampuh akan diperlukan jika ketebalan material yang akan dilas lebih dari 6 mm (ASME section IX). Ada beberapa jenis kampuh yang biasanya digunakan dalam pengelasan misalnya *Square Groove weld Butt Joint*, *V-butt joint*, *double V-butt joint*, dll seperti yang terlihat pada gambar 2.6.

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan jenis kampuh adalah:

- a. Ketebalan benda kerja.
- b. Jenis benda kerja.
- c. Kekuatan yang diinginkan.
- d. Posisi pengelasan.

Kampuh V digunakan untuk menyambung logam/plat yang tebalnya antara 6-16 mm, Kampuh V terbuka digunakan untuk menyambung logam/plat yang tebalnya 6-16 mm dengan sudut bevel 30° - 80° dan jarak/celah kampuh sekitar 2 mm serta tinggi dasar sampai sudut kampuh 1-2 mm. Pada waktu mengelas kampuh V terbuka diberi plat penahan cairan sepanjang kampuh yang gunanya untuk mencegah cairan bertumpuk disebelah bawah kampuh dan plat penahan tersebut dapat dibuka bila diperlukan.



Gambar 2.6 Detail Joint pada Pengelasan (Okumura, 1994)

2.2.8. Arus Pengelasan

Berpengaruh langsung pada penetrasi logam las, bentuk manik las lebar HAZ dan dilusi. Arus las makin besar dapat memperdalam penetrasi logam las dan juga memperlebar HAZ, demikian sebaliknya. Pemakaian arus las semakin tinggi juga dapat memperlebar manik las.

Arus las juga mempengaruhi dilusi atau pencampuran. Semakin besar arus las maka semakin besar juga dilusi yang artinya semakin banyak bagian logam induk yang mencair.

Besarnya arus pengelasan ditentukan oleh diameter elektroda. Semakin besar diameter elektroda yang dipakai maka semakin tinggi arus las yang diperlukan. Secara logika, untuk mencairkan kawat las berdiameter lebih besar akan membutuhkan panas lebih tinggi. Energi panas sebanding dengan arus las. Oleh karena itu fakta bahwa pemakaian kawat las berdiameter besar membutuhkan arus las yang besar juga.

2.2.10 Pengujian *Non-Destructive Test Radiography (NDT)*

Radiografi merupakan salah satu metode yang digunakan dalam pengujian *Non-Destructive Test (NDT)*. Pengujian tanpa merusak adalah pengujian suatu material bahan dengan tidak merusak bahan dan pengujian meliputi sifat fisik maupun kimia dari bahan tersebut baik selama dan setelah pengujian tidak mengalami perubahan. Tujuannya untuk mengetahui kualitas barang atau bahan yang merupakan salah satu cara pengendalian dalam memenuhi standard yang ditetapkan.

Pengujian dengan metode radiografi merupakan salah satu metode yang banyak digunakan dalam NDT. Metode radiografi mempunyai daya penetrasi dan penyerapan dari radiasi sinar-x dan sinar γ (gamma), maka radiografi dapat digunakan untuk memeriksa pada sambungan las.

Keuntungan dari pemeriksaan radiografi meliputi:

- a. Dapat digunakan untuk berbagai material
- b. Menghasilkan visual image yang permanen
- c. Dapat memperlihatkan kondisi asli bagian dalam material
- d. Dapat memperlihatkan bentuk cacat.

Kerugian / keterbatasan dari pemeriksaan radiografi meliputi :

- a. Tidak praktis digunakan pada spesimen – spesimen yang mempunyai bentuk geometris beragam / kompleks
- b. Pertimbangan keselamatan dan kesehatan dari bahaya yang ditimbulkan sinar x dan sinar γ (gamma) harus dipikirkan
- c. Peralatan yang digunakan relatif mahal
- d. Memerlukan operator yang benar-benar pengalaman
- e. Setiap operator atau pekerja harus berlisensi

2.2.11. Metallografi

Metallografi merupakan suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan mikroskop optis dan mikroskop elektron. Sedangkan struktur yang terlihat pada mikroskop tersebut disebut mikrostruktur. Pengamatan tersebut dilakukan terhadap specimen yang telah diproses sehingga bisa diamati dengan pembesaran tertentu.

Uji metallografi dilakukan dengan cara mengamati hasil lasan dengan bantuan mikroskop. Ada beberapa hal yang dapat diketahui dari pengamatan ini, antara lain :

- a. Mengetahui kondisi hasil lasan
- b. Jumlah pass dari pengelasan yang digunakan
- c. Struktur metalurgi pada lasan dari *fusion zone*
- d. Luas dan struktur metalurgi pada *heat affected zone*
- e. Lokasi kedalaman dari hasil lasan

Ukuran specimen dalam test metallografi biasanya berkisar antara 12-25 mm panjang maupun lebarnya. Ada beberapa prosedur dalam mengambil specimen test metallografi dari specimen hasil lasan, yaitu :

a. *Cutting*

Pemotongan specimen dapat menggunakan gergaji besi. Tetapi dalam hal ini disarankan menggunakan grinda karena disamping lebih cepat dan efisien juga dapat menghasilkan permukaan yang lebih rata. Cara pemotongan yang salah bisa mengakibatkan kerusakan pada material jika terjadi pemanasan yang berlebih saat pemotongan.

b. Mounting

Menempatkan sampel pada suatu media, untuk memudahkan penanganan sampel yang berukuran kecil dan tidak beraturan tanpa merusak sampel.

c. Grinding and polishing

Mata gerinda yang digunakan untuk spesimen ini berupa kertas amplas dengan air di permukaanya. Pengamplasan ini dilakukan secaraurut nomer kertas amplas 180, 240, 400, sampai 1200. Proses ini dilakukan terus-menerus hingga permukaan sampel menjadi halus. Lalu spesimen dicuci dengan campuran air dan alkohol sebelum dilakukan *polish*. *Polish* disini bertujuan untuk menghilangkan goresan-goresan pada permukaan spesimen yang sudah dilakukan *grinding*. Pada mesin *polish* terdapat *rotating disc* yang ditutupi dengan kain yang sangat halus yang mengandung partikel berlian (6 dan 1 mikron) dan oli pelumas

d. Etching

Tujuan utama dari proses *etching* ini adalah untuk menghilangkan lapisan pada permukaan spesimen. Sehingga nantinya akan terlihat jelas sekali Kristal, *grain boundaries*, fasa, dan cacat pada spesimen pada mikroskop elektron.

2.2.12. Pengujian Impact

Uji *impact* adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Pengujian *impact* merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Inilah yang membedakan pengujian impak dengan pengujian tarik dan kekerasan, dimana pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan. Pengujian impak merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan

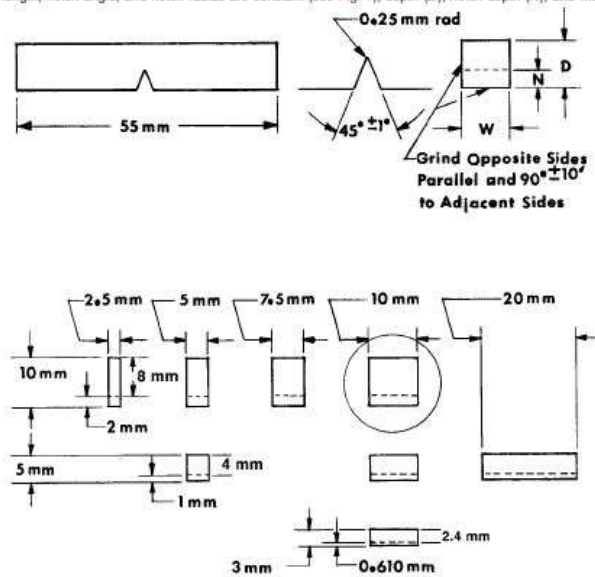
datang secara tiba-tiba. Pada uji *impact* terjadi proses penyerapan energi yang besar ketika beban menumbuk spesimen. Energi yang diserap material ini dapat dihitung dengan menggunakan prinsip perbedaan energi potensial. Dasar pengujiannya yakni penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi. Pada pengujian impak ini banyaknya energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan *impact* atau ketangguhan bahan tersebut.

2.2.12.1 Pengujian *Impact* Metode Charpy :

Batang uji Charpy banyak digunakan di Amerika Serikat, Benda uji Charpy memiliki luas penampang lintang bujur sangkar (10 mm x 10 mm) dan memiliki takik (*notch*) berbentuk V dengan sudut 45° , dengan jari-jari dasar 0,25 mm dan kedalaman 2 mm. Benda uji diletakkan pada tumpuan dalam posisi mendatar dan bagian yang bertakik diberi beban impak dari ayunan bandul, Serangkaian uji Charpy pada satu material umumnya dilakukan pada berbagai temperature sebagai upaya untuk mengetahui temperatur transisi. Prinsip dasar pengujian charpy ini adalah besar gaya kejut yang dibutuhkan untuk mematahkan benda uji dibagi dengan luas penampang patahan. Mula-mula bandul Charpy disetel dibagian atas, kemudian dilepas sehingga menabrak benda uji dan bandul terayun sampai ke kedudukan bawah Jadi dengan demikian, energi yang diserap untuk mematahkan benda uji ditunjukkan oleh selisih perbedaan tinggi bandul pada kedudukan atas dengan tinggi bandul pada kedudukan bawah (tinggi ayun). Segera setelah benda uji diletakkan, kemudian bandul dilepaskan sehingga batang uji akan melayang (jatuh akibat gaya gravitasi). Bandul ini akan memukul benda uji yang diletakkan semula dengan energi yang sama. Energi

bandul akan diserap oleh benda uji yang dapat menyebabkan benda uji patah tanpa deformasi (getas) atau pun benda uji tidak sampai putus yang berarti benda uji mempunyai sifat keuletan yang tinggi. Permukaan patah membantu untuk menentukan kekuatan impact dalam hubungannya dengan temperatur transisi bahan. Daerah transisi yaitu daerah dimana terjadi perubahan patahan ulet ke patahan getas. Bentuk perpatahan dapat dilihat langsung dengan mata telanjang atau dapat pula dengan bantuan mikroskop.

On sub-size specimens the length, notch angle, and notch radius are constant (see Fig. 1); depth (D), notch depth (N), and width (W) vary as indicated below.



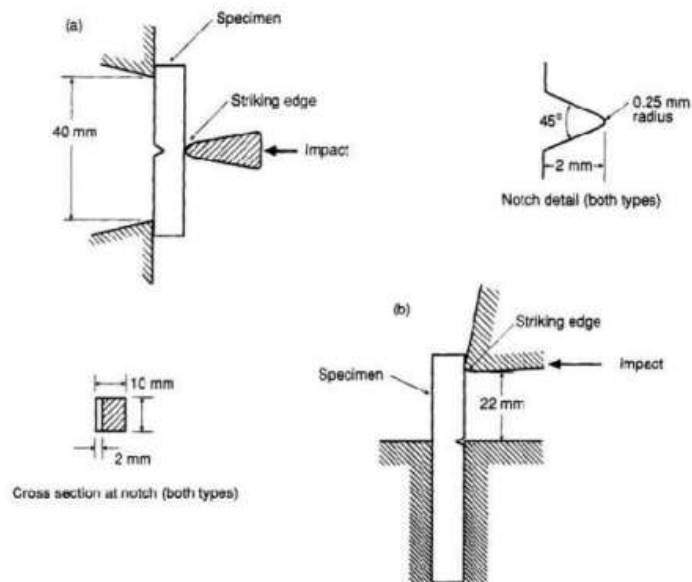
NOTE 1—Circled specimen is the standard specimen (see Fig. 1).

NOTE 2—Permissible variations shall be as follows:

Cross-section dimensions	$\pm 1\%$ or ± 0.075 mm, whichever is smaller
Radius of notch	± 0.025 mm
Ligament length	± 0.025 mm
Finish requirements	2 μ m on notched surface and opposite face; 4 μ m on other two surfaces

FIG. A3.1 Non-Standard Charpy (Simple-Beam) (Type A) Impact Test Specimens

Gambar 2.7 *Notch dan ukuran spesimen untuk pengujian Impact Metode Charpy (ASTM E23)*



Gambar 2.8 Perbedaan *Notch* untuk Uji Impact Metode Charpy dan metode Izod (ASTM E23)

2.2.12.2 Pengujian *Impact* Metode Izod

Metode uji Izod lazim digunakan di Inggris dan Eropa, Benda uji Izod mempunyai penampang lintang bujur sangkar atau lingkaran dengan takik V di dekat ujung yang dijepit, kemudian uji impak dengan metode ini umumnya juga dilakukan hanya pada temperatur ruang dan ditujukan untuk material-material yang didisain untuk berfungsi sebagai *cantilever*.

Perbedaan mendasar charpy dengan izod adalah peletakan spesimen. Pengujian dengan menggunakan izod tidak seakurat pada pengujian charpy, karena pada izod pemegang spesimen juga turut menyerap energi, sehingga energi yang terukur bukanlah energi yang mampu di serap material seutuhnya.

Faktor yang mempengaruhi kegagalan material pada pengujian *impact* adalah:

a. *Notch*

Notch pada material akan menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada daerah yang lancip sehingga material lebih mudah patah. Selain itu *notch* juga akan menimbulkan *triaxial stress*. *Triaxial stress* ini sangat berbahaya karena tidak akan terjadi deformasi plastis dan menyebabkan material menjadi getas. Sehingga tidak ada tanda-tanda bahwa material akan mengalami kegagalan.

b. Temperatur

Pada temperatur tinggi material akan getas karena pengaruh vibrasi elektronnya yang semakin rendah, begitupun sebaliknya.

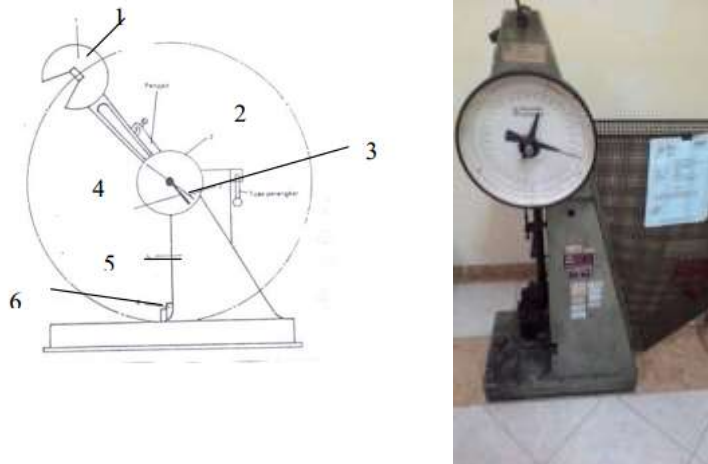
c. Strain Rate

Jika pembebanan diberikan pada strain rate yang biasa-biasa saja, maka material akan sempat mengalami deformasi plastis, karena pergerakan atomnya (dislokasi). Dislokasi akan bergerak menuju ke batas butir lalu kemudian patah. Namun pada uji impak, strain rate yang diberikan sangat tinggi sehingga dislokasi tidak sempat bergerak, apalagi terjadi deformasi plastis, sehingga material akan mengalami patah transgranular, patahnya ditengah-tengah atom.

Pada baja dan aluminium terdapat perbedaan harga impak. Harga *impact* baja lebih tinggi daripada aluminium menunjukkan bahwa ketangguhan baja lebih tinggi jika dibandingkan dengan aluminium. Ketangguhan adalah kemampuan material untuk menyerap energi dan berdeformasi plastis hingga patah.

Selain suhu, hal lain yang mempengaruhi harga impak suatu material adalah kadar karbonnya. Material yang memiliki kadar karbon yang tinggi akan lebih getas. Hal ini akan mempengaruhi harga impaknya dan temperature transisi. Material yang memiliki kadar karbon tinggi akan memiliki temperature transisi yang lebih panjang jika dibandingkan dengan material yang memiliki kadar karbon

rendah. Temperatur transisi yang berbeda-beda ini akan mempengaruhi ketahanan material terhadap perubahan suhu. Material yang memiliki temperature transisi rendah maka material tersebut tidak akan tahan terhadap perubahan suhu. Pada pembebanan impak ini, terjadi proses penyerapan energi yang besar.



Gambar 2.9. Alat Pengujian *Impact* (Al-Khotasa, 2016)

Keterangan :

1. Pendulum
2. Piring busur derajat
3. Jarum penunjuk sudut
4. Batang pembawa jarum
5. Badan mesin uji
6. Tempat benda uji dipasang

$$\text{Nilai Ketangguhan} = \frac{\text{Kerja Patah (W)}}{\text{Luas Penampang di bawah takikan (A)}} \text{ Joule / mm}^2$$

Bila diketahui luas penampang di bawah takikan (A).... mm², dapat disimpulkan perolehan nilai ketangguhan batang uji dihitung sebagai berikut :

Pada spesimen yang telah dilakukan pengujian impak, akan dapat diketahui jenis patahan yang dihasilkan. Adapun jenis-jenis patahan tersebut antara lain:

a. Patahan Getas

Ciri-ciri patahan getas adalah memiliki permukaan rata dan mengkilap, apabila potongan ini disambung kembali maka kedua potongan ini akan menyambung dengan baik dan rapat. Hal ini disebabkan pada saat proses patahnya, spesimen tidak mengalami deformasi. Bahan yang memiliki jenis patahan ini mempunyai kekuatan impak yang rendah.

b. Patahan Liat

Ciri-ciri permukaan patahan jenis ini tidak rata dan tampak seperti beludru, buram dan berserat. Jika potongan disambungkan kembali maka sambungan tidak akan rapat. Bahan yang memiliki jenis patahan ini mempunyai kekuatan impak yang tinggi, karena sebelum patah bahan mengalami deformasi terlebih dahulu.

c. Patahan Campuran

Ciri-cirinya patahan jenis ini adalah permukaan patahan sebagian terdiri dari patahan getas dan sebagian yang lain adalah patahan liat

2.2.13 Uji Kekerasan (Vickers)

Kekerasan adalah ketahanan suatu material terhadap deformasi pada daerah lokal dan permukaan material. Khusus untuk logam deformasi yang dimaksud adalah deformasi plastis. Sedangkan pengertian kekuatan adalah

ketahanan suatu material berbading lurus dengan kekerasannya. Semakin keras suatu material maka semakin kuat material itu. Prinsip dari pengujian metode Vickers mirip dengan metode brinell. Sudut indentor piramida berlian Vickers adalah 136° . Jejak indentasi yang dihasilkan oleh indentor Vickers lebih jelas daripada jejak indentor dari pengujian metode brinell sehingga metode ini memiliki akurasi lebih baik. Karena kelebihan ini, maka metode Vickers lebih banyak digunakan dalam dunia pendidikan dan penelitian. Aplikasi metode ini sangat luas, mulai untuk logam yang memiliki nilai Vickers rendah 5 HV pada logam yang lunak sampai dengan nilai vicker tinggi sekitar 1500 HV pada logam yang sangat keras. Besar beban indentor bervariasi antara 1 kg sampai 120 kg yang disesuaikan dengan tingkat kekerasan material spesimen. Prinsip dari uji kekerasan Vickers adalah besar beban dibagi dengan luas daerah indentasi atau dapat dirumuskan seperti berikut ini :

$$VHN = \frac{2P \sin(\frac{\theta}{2})}{d^2} = \frac{(1,854)P}{d^2}$$

Dimana :

P = Beban (kg)

d = Panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = Sudut piramida 136°

2.2.14 Struktur Mikro Daerah Las-lasan

Daerah las-lasan terdiri dari tiga bagian yaitu: daerah logam las, daerah pengaruh panas atau *Heat Affected Zone* (HAZ) dan logam induk yang tak terpengaruhi panas.

2.2.14.1 Daerah Logam las

Struktur mikro pada daerah logam las terbagi kedalam butir-butir ferit yang berwarna terang dan fasa perlit berwarna gelap. Butir ferit cenderung lebih halus sedangkan butir perlit lebih kasar. Butir perlit cenderung keras sedangkan butir ferit cenderung lunak atau ulet. Struktur mikro ferit lebih rapat (halus), sehingga menahan rambatan retak yang terjadi. Semakin halus ferit maka mempunyai ketangguhan yang semakin tinggi (Lancaster,1996).

Daerah logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Komposisi logam las terdiri dari komponen logam induk dan bahan tambah dari elektroda. Karena logam las dalam proses pengelasan ini mencair kemudian membeku, maka kemungkinan besar terjadi pemisahan komponen yang menyebabkan terjadinya struktur yang tidak homogen, ketidakhomogennya struktur akan menimbulkan struktur ferit kasar dan bainit atas yang menurunkan ketangguhan logam las. Pada daerah ini struktur mikro yang terjadi adalah struktur cor. Struktur mikro di logam las dicirikan dengan adanya struktur berbutir panjang (columnar grains). Struktur ini berawal dari logam induk dan tumbuh ke arah tengah daerah logam las (Sonawan, 2003).

2.2.14.2 Daerah pengaruh panas atau *Heat Affected Zone* (HAZ)

Daerah pengaruh panas atau heat affected zone (HAZ) adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan

cepat sehingga daerah ini yang paling kritis dari sambungan las. Secara visual daerah yang dekat dengan garis lebur las maka susunan struktur logamnya semakin kasar.

2.2.14.3 Logam Induk

Logam induk adalah bagian logam dasar di mana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah pengaruh panas, yang disebut batas las.

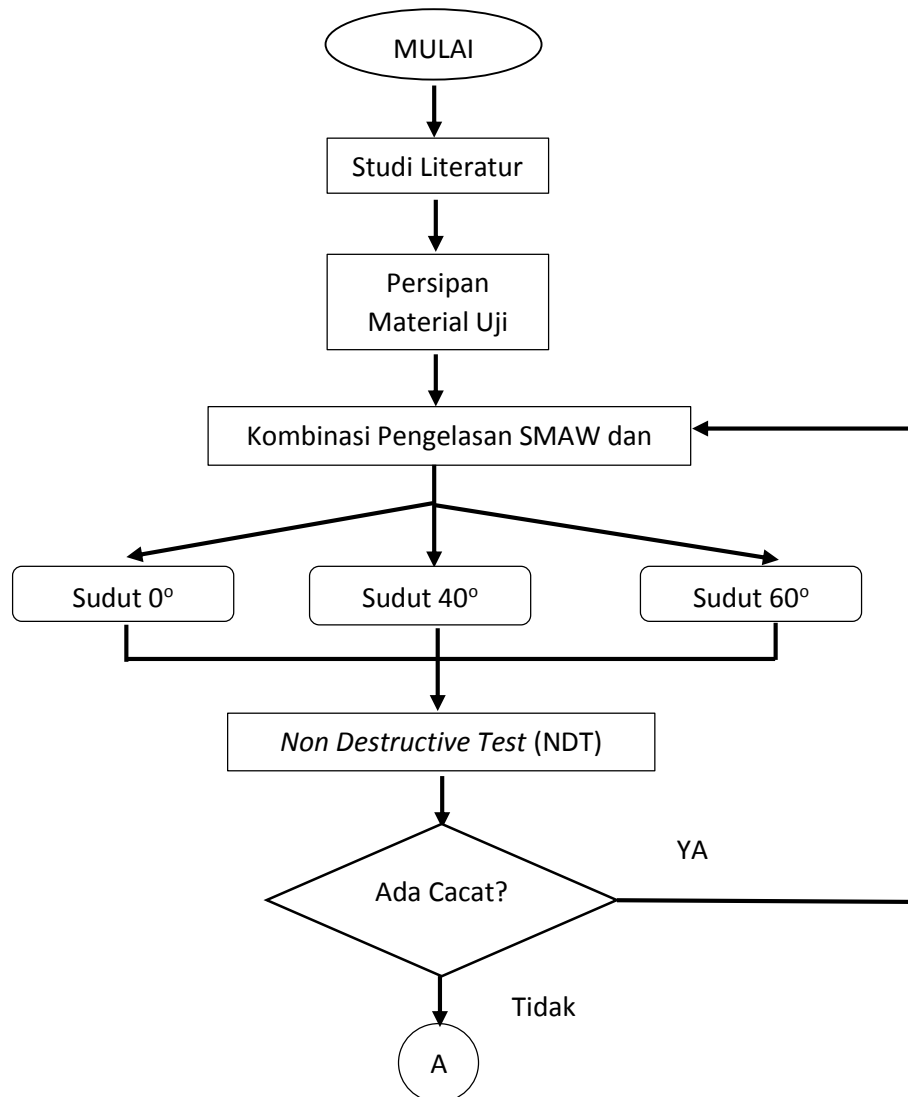
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

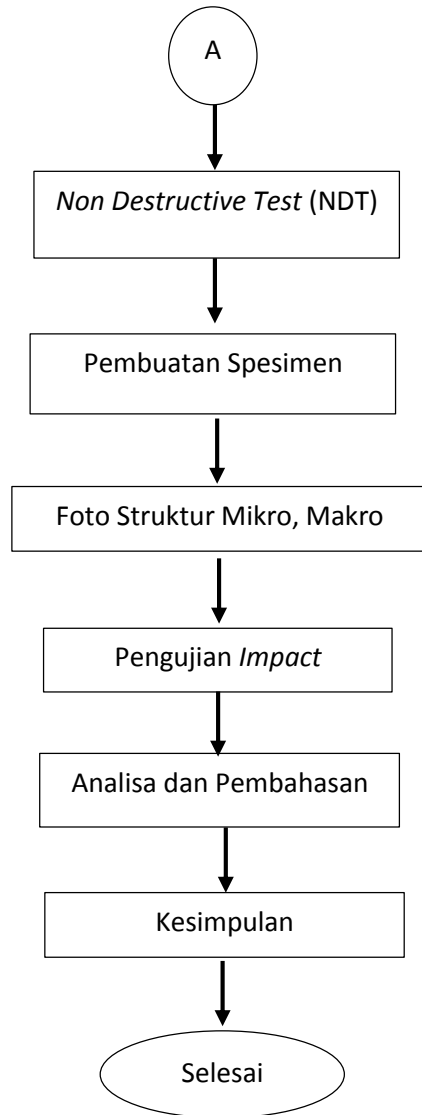
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Skema Diagram Alir

Untuk mempermudah evaluasi perkembangan penelitian untuk tugas akhir akan dibuat diagram pengerjaan/metodologi. Secara garis besar pengerjaan tugas akhir ini dapat dijelaskan dalam gambar 3.1 dan gambar 3.2



Gambar 3.1 Diagram Alir



Gambar 3.2 Diagram Alir (Lanjutan)

3.2. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah penelitian pengerjaan tugas akhir ini tertera dalam diagram alir gambar 3.1 dan gambar 3.2 dan dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi literatur dan pengumpulan data

Dalam pengerjaan tugas akhir ini diperlukan studi literature mengenai pengelasan yang terdapat pada codes seperti AWS D 1.1 , API 1104 , ASME section IX, ASTM E23 dan lain sebagainya. Diperlukan juga jurnal – jurnal serta tugas akhir dari penelitian sebelumnya sebagai referensi penulis. Selain itu diskusi dengan praktisi pada bidang yang terkait juga diperlukan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

2. Persiapan material Uji

Material yang diperlukan untuk tugas akhir ini adalah API 5L Grade X42 SCH 80 dengan *Outer Diameter* (OD) 165 mm atau 6.5 inch dan *wall thickness* 11 mm. Elektroda yang digunakan untuk pengelasan SMAW adalah E7016 dan untuk pengelasan FCAW menggunakan elektroda E71T – 1.

Persiapan Alat-alat lain yaitu :

- a. Gerinda
- b. Mesin bubut
- c. Mesin poles
- d. Mesin Amplas
- e. Mesin Gergaji
- f. Peralatan pengelasan
- g. Mesin las SMAW
- h. Mesin las FCAW
- i. Penggaris
- j. Kertas Gosok
- k. Mesin uji NDT Radiografi
- l. Mesin foto struktur mikro dan Makro
- m. Mesin uji ketangguhan (*impact*)
- n. Pengukur sudut

3. Pembuatan Kampuh dan Pengelasan

a) Menggunakan Kampuh Las I dengan sudut 0°

Proses Pengelasan : SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dan
FCAW (*Flux Cored Arc Welding*)

Desain Sambungan : Butt Joint

Kampuh : Single I

Material : Pipa API 5L Grade X42 SCH 80

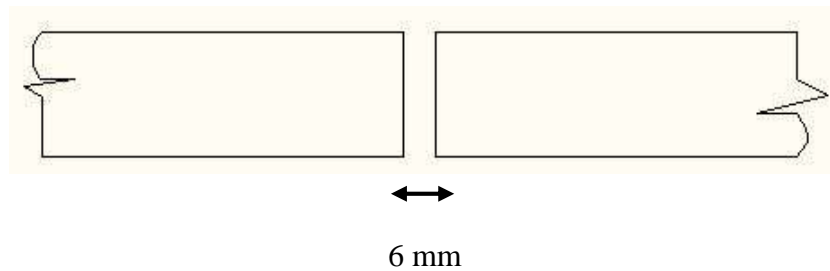
Elektroda FCAW : E71T-1

Elektroda SMAW : E7016

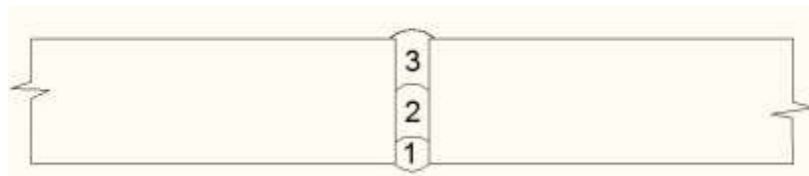
OD : 165 mm

Posisi pengelasan : 5G

Details :



Sequence :



Tabel 3.1 Welding Procedure untuk Sudut Bevel 0°

Weld Pass	Process	Electrode		Current Type and Polarity	Amps (A)	Volts (Volt)
		Class	Diameter (mm)			
Root	SMAW	E7016	2.6	DCEN	50-80	19-20
Fill	FCAW	E71T-1	1.2	DCEP	100-130	20-27
Cap	FCAW	E71T-1	1.2	DCEP	100-150	20-30

Hasil Pengelasan kampuh I dengan sudut 0°



Gambar 3.3 Material Pipa API 5L X42 dengan kampuh I dan sudut 0° sebelum di las



Gambar 3.4 Material Pipa API 5L X42 dengan kampuh I dan sudut 0° setelah di las

b) Menggunakan Kampuh Las V dengan sudut 40°

Proses Pengelasan : SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dan
FCAW (*Flux Cored Arc Welding*)

Desain Sambungan : Butt Joint

Kampuh : Single V

Material : Pipa API 5L Grade X42 SCH 80

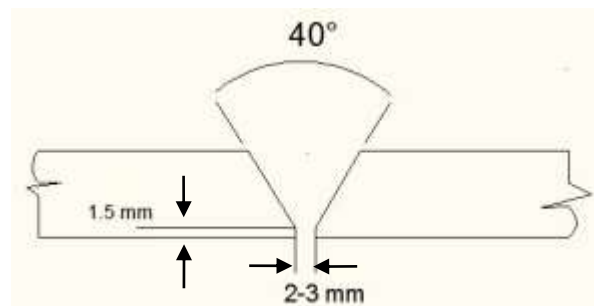
Elektroda FCAW : E71T-1

Elektroda SMAW : E7016

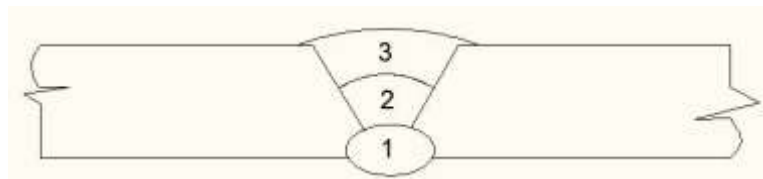
OD : 165 mm

Posisi pengelasan : 5G

Details :



Sequence :



Tabel 3.2 Welding Procedure untuk Sudut Bevel 40°

Weld Pass	Process	Electrode		Current Type and Polarity	Amps (A)	Volts (Volt)
		Class	Diameter (mm)			
Root	SMAW	E7016	2.6	DCEN	50-80	17-20
Fill	FCAW	E71T-1	1.2	DCEP	80-120	20-25
Cap	FCAW	E71T-1	1.2	DCEP	80-120	20-27

Hasil Pengelasan kampuh V dengan sudut bevel 40°



Gambar 3.5 Material Pipa API 5L X42 dengan kampuh V dan sudut 40° sebelum di las



Gambar 3.6 Material Pipa API 5L X42 dengan kampuh V dan sudut 40° setelah di las

c) Menggunakan Kampuh Las V dengan sudut 60°

Proses Pengelasan : SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dan
FCAW (*Flux Cored Arc Welding*)

Desain Sambungan : Butt Joint

Kampuh : Single V

Material : Pipa API 5L Grade X42 SCH 80

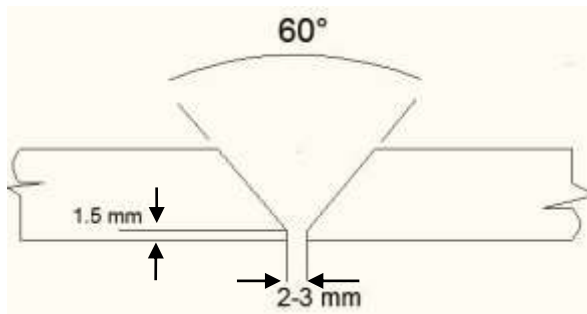
Elektroda FCAW : E71T-1

Elektroda SMAW : E7016

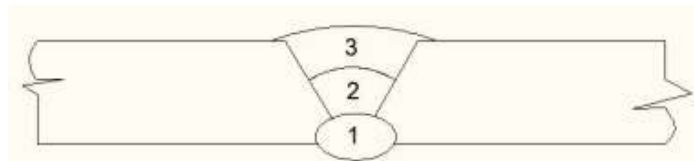
OD : 165 mm

Posisi pengelasan : 5G

Details :



Sequence :



Tabel 3.3 Welding Procedure untuk Sudut Bevel 60°

Weld Pass	Process	Electrode		Current Type and Polarity	Amps (A)	Volts (Volt)
		Class	Diameter (mm)			
Root	SMAW	E7016	2.6	DCEN	50-80	17-20
Fill	FCAW	E71T-1	1.2	DCEP	80-120	20-25
Cap	FCAW	E71T-1	1.2	DCEP	80-120	20-27

Hasil Pengelasan kampuh V dengan sudut bevel 60°



Gambar 3.7 Material Pipa API 5L X42 dengan kampuh V dan sudut 60° sebelum di las



Gambar 3.8 Material Pipa API 5L X42 dengan kampuh V dan sudut 60° setelah di las

4. Dilakukan uji kualitas las dengan menggunakan uji NDT (*Non Destructive Test*) berupa uji radiografi untuk mengetahui apakah ada cacat/ diskontinuitas atau tidak pada material pipa API 5L Grade X42 yang selesai dilas.
5. Setelah itu hasil pengelasan di potong sehingga di dapatkan beberapa spesimen dari variasi sudut bevel yang nantinya akan dilakukan pengujian *impact*. Pembuatan spesimen mengacu pada ASTM E23.

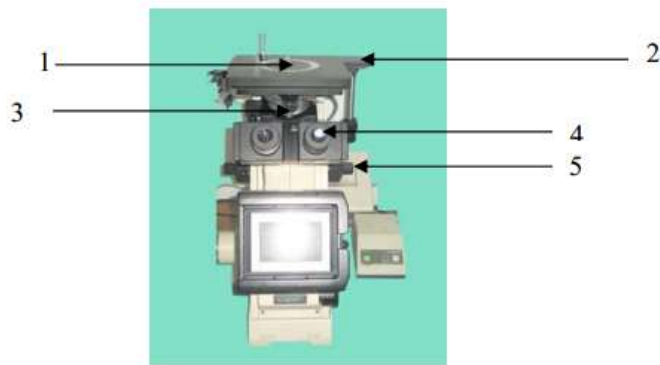


Gambar 3.9 Spesimen Uji *Impact*

6. Sebelum melakukan pengujian foto struktur mikro dan makro benda uji perlu dipoles dahulu. Pemolesan dengan menggunakan kertas gosok grade 80 sampai 2000. Setelah spesimen diampelas dengan ukuran 2000 sampai halus kemudian diberi autosol agar spesimen lebih halus lagi. Spesimen yang telah diproses dilanjutkan dengan pengujian foto struktur mikro, adapun langkah-langkahnya sebagai berikut:
 - a. Spesimen dibersihkan menggunakan kain, setelah itu dioles dengan kapas yang dibasahi cairan etsa kemudian dioleskan pada permukaan yang dikehendaki. Setelah selesai dioles dengan cairan etsa kemudian dibilas dengan alkohol.
 - b. Letakkan spesimen pada landasan mikroskop optik, aktifkan mesin, dekatkan lensa pembesar untuk melihat permukaan spesimen. Pengambilan foto struktur mikro dengan perbesaran 400x. Lihatlah

struktur mikro apabila kurang jelas atau kabur, fokuskan lensa agar terlihat dengan jelas.

- c. Sebelum gambar diambil, film dipasang pada kamera yang telah disetel sedemikian rupa dengan menggunakan film asa 200. Usahakan pada saat pengambilan foto tidak ada hal apapun yang membuat mikroskop optik bergerak, karena apabila mikroskop optik bergerak akan mempengaruhi hasilnya.
- d. Pengambilan foto dan save foto.



Gambar 3.10 Mesin foto struktur mikro (Al-Khotasa, 2016)

Keterangan gambar :

1. Landasan spesimen
2. Lengan pengatur kedudukan
3. Lensa pengatur perbesaran
4. Lensa untuk melihat
5. Tuas pengatur perbesaran



Gambar 3.11 Sepesimen untuk uji mikro dan makro

7. Pengujian Kekerasan Metode Vickers

Spesimen yang telah di foto mikro, selanjutnya digunakan untuk pengujian kekerasan. Spesimen sebelumnya dipoles terlebih dahulu dengan menggunakan autosol, kemudian dietsa dengan cairan alkohol dan HNO_3 .

Langkah pengujian :

1. Memasang indentor piramida intan. Penekanan piramida intan 136° dipasang pada tempat indentor mesin uji, kencangkan secukupnya agar penekan intan tidak jatuh.
2. Memberi garis warna pada daerah logam las, HAZ dan logam induk yang akan diuji.
3. Meletakkan benda uji di atas landasan.
4. Menentukan beban utama.
5. Menentukan titik yang akan diuji.
6. Menekan tombol indentor.



Gambar 3.12 Mesin pengujian kekerasan mikro *Vickers* (Al-Khotasa, 2016)

Keterangan gambar :

1. Lensa
2. Indentor *Vickers*
3. Landasan spesimen
4. Tuas penggerak maju-mundur spesimen
5. Pengukur diagonal bekas injakan indentor
6. Tuas penggerak kiri-kanan spesimen
7. Tombol indentor

8. Uji *Impact*

Prosedur dan pembacaan hasil pada pengujian ketangguhan adalah sebagai berikut:

- a. Menyiapkan peralatan mesin *impact Charpy*.
- b. Menyiapkan benda uji yang akan dilakukan pengujian sesuai standar ukuran yang telah ditetapkan.
- c. Menghitung tebal actual dan lebar actual untuk mengetahui luas penampang dibawah takikan.
- d. Meletakkan benda uji pada anvil dengan posisi takikan membelakangi arah ayunan pendulum/ palu *Charpy*.

- e. Menaikkan palu/ pendulum Charpy dengan menggunakan handle pengatur kemudian dikunci.
- f. Putar jarum penunjuk sampai ke angka 0
- g. Lepaskan kunci sehingga palu Charpy berayun membentur benda uji.
- h. Memperhatikan dengan mencatat nilai tenaga patah pada jarum penunjuk.



Gambar 3.13 Alat pengujian impact (Al-Khotasa, 2016)

Keterangan :

1. Piring busur derajat
2. Jarum penunjuk sudut
3. Batang pembawa jarum
4. Tuas perangkat
5. Pengunci palu
6. Pendulum
7. Tempat benda uji dipasang
8. Badan mesin uji
9. Lengan

9. Melakukan analisa dan pembahasan dari data hasil pengelasan serta pengujian NDT, pengujian makro dan mikro serta pengujian impact yang nantinya akan diketahui kekuatan sambungan las dari variasi sudut bevel.
10. Membuat kesimpulan dari hasil penelitian yang sesuai dengan perumusan masalah dan juga diberikan saran untuk penelitian selanjutnya agar dapat disempurnakan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil NDT Radiografi

Berdasarkan hasil radiografi dilakukan berdasarkan *codes* API 1104 dan didapatkan 9 film pendek yang terdiri dari 3 film untuk masing – masing pipa. Sinar yang digunakan untuk uji radiografi ini berupa sinar X. Pengujian dibagi menjadi 3 area sehingga memenuhi keliling dari keseluruhan pipa yaitu area 0-6, 6-12 dan 12-0. Berikut adalah analisa dari hasil radiografi

a. Pipa kampuh I dengan sudut 0°

Pada pengelasan pipa ini terdapat cacat yaitu *incomplete penetration*. Cacat las jenis ini terjadi karena logam las gagal mencapai *root* (akar) dari sambungan atau tidak sepenuhnya menyambungkan permukaan *root* secara menyeluruh. Hal ini mungkin saja disebabkan karena ayunan pengelasan terlalu cepat, *heat input* kurang besar dan *root opening* pada sambungan terlalu besar.

b. Pipa kampuh V dengan sudut 40°

Pada pengelasan pipa ini terdapat cacat yaitu *incomplete penetration*. Cacat las jenis ini terjadi karena logam las gagal mencapai *root* (akar) dari sambungan atau tidak sepenuhnya menyambungkan permukaan *root* secara menyeluruh. Hal ini mungkin saja disebabkan karena ayunan pengelasan terlalu cepat, *heat input* kurang besar dan *root opening* pada sambungan terlalu besar.

c. Pipa kampuh V dengan sudut 60°

Pada pengelasan pipa ini area 0-6 dinyatakan *accepted*. Namun terdapat cacat pada area 6-12 yaitu *incomplete fusion*. Cacat las ini terjadi karena logam las dan benda kerja gagal menyatu atau kurang menempel. Hal ini mungkin saja bisa terjadi akibat benda kerja yang kurang panas atau permukaan

benda kerja yang kurang bersih. Pada area 12-0 terdapat cacat las berupa *crack*. *Crack* merupakan putusnya benda kerja akibat tegangan. Retakan sering terjadi pada lasan maupun bagian benda kerja yang dekat dengan lasan. Retakan yang sering terjadi berupa retakan yang sangat sempit. Pada area ini terdapat *crack* kecil memanjang sekitar 8 mm.

4.2 Hasil Foto Struktur Makro



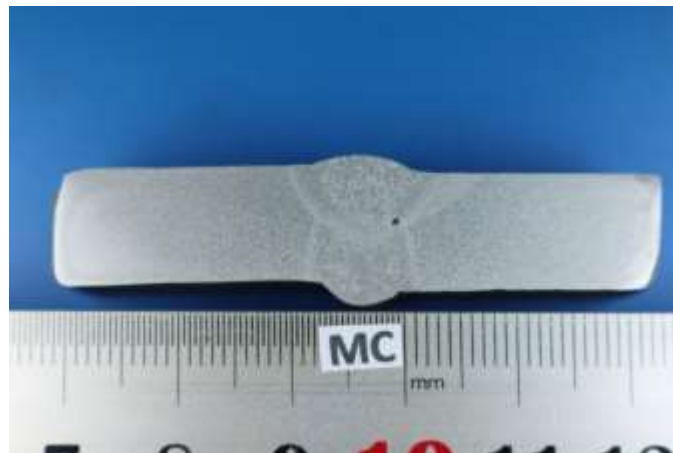
Gambar 4.1 Hasil Foto Struktur Makro spesimen A (Sudut Bevel 60°)

Setelah spesimen dipoles dan dibersihkan dengan cairan etsa kemudian difoto menggunakan kamera SLR maka didapatkan hasil foto struktur makro spesimen A dengan sudut bevel 60° pada gambar 4.1 dan dapat dilihat hasil pengelasan secara keseluruhan yang terdiri dari 3 *layer* yaitu *root*, *fill* dan *cap*



Gambar 4.2 Hasil Foto Struktur Makro spesimen B (Sudut Bevel 40°)

Setelah spesimen dipoles dan dibersihkan dengan cairan etsa kemudian difoto menggunakan kamera SLR maka didapatkan hasil foto struktur makro spesimen B dengan sudut bevel 40° pada gambar 4.2 dan dapat dilihat hasil pengelasan secara keseluruhan yang terdiri dari 3 *layer* yaitu *root*, *fill* dan *cap*.

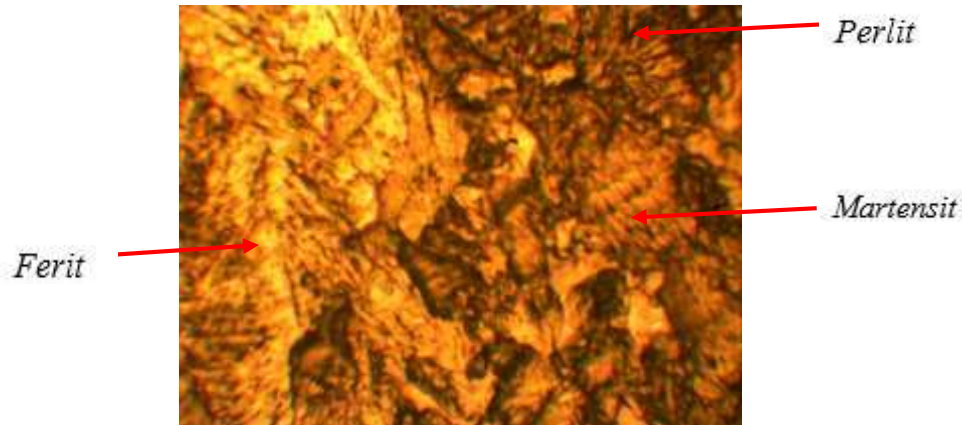


Gambar 4.3 Hasil Foto Struktur Makro spesimen C (Sudut Bevel 0°)

Setelah spesimen dipoles dan dibersihkan dengan cairan etsa kemudian difoto menggunakan kamera SLR maka didapatkan hasil foto struktur makro spesimen C dengan sudut bevel 0° pada gambar 4.3 dan dapat dilihat hasil pengelasan secara keseluruhan yang terdiri dari 3 *layer* yaitu *root*, *fill* dan *cap*

4.3 Hasil Foto Struktur Mikro

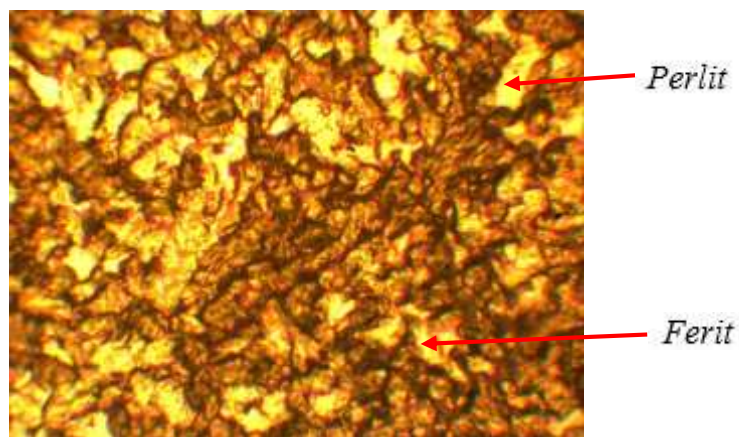
A. Struktur mikro pada weld metal sudut bevel 60°



Gambar 4.4 Foto Stuktur Mikro pada *Weld Metal* sudut bevel 60° perbesaran 400 X

Struktur mikro pada gambar di atas didominasi butir-butir *perlit* (berwarna gelap) dengan persentase sebesar 54.67 % sedangkan *ferit* yang berwarna terang dengan persentase sebesar 33.11 % dan butir – butir *martensit* sebesar 12.22% . Butir *ferit* cenderung lebih halus sedangkan butir *perlit* lebih kasar dan butir *martensit* yang berbentuk seperti jarum – jarum.

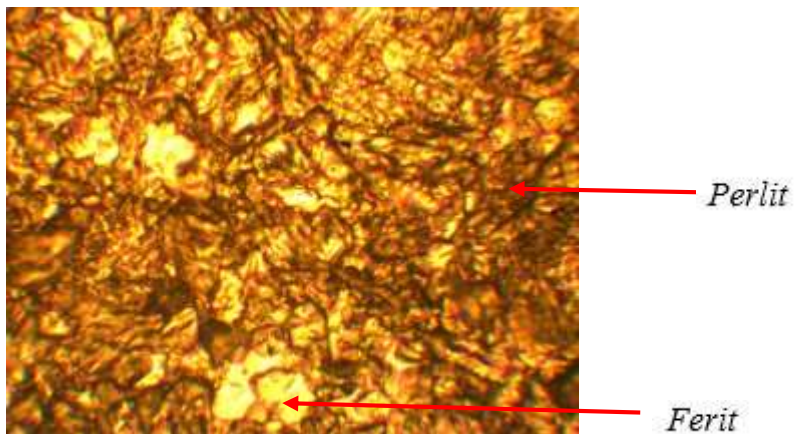
B. Struktur mikro pada HAZ sudut bevel 60°



Gambar 4.5 Foto Stuktur Mikro pada HAZ sudut bevel 60° perbesaran 400 X

Struktur mikro pada gambar di atas didominasi butir-butir *perlit* (berwarna gelap) dengan persentase sebesar 73.6% sedangkan *ferit* yang berwarna terang dengan persentase sebesar 26.44 %. Butir *ferit* cenderung lebih halus sehingga cenderung bersifat ulet sedangkan butir *perlit* lebih kasar sehingga cenderung bersifat lebih getas.

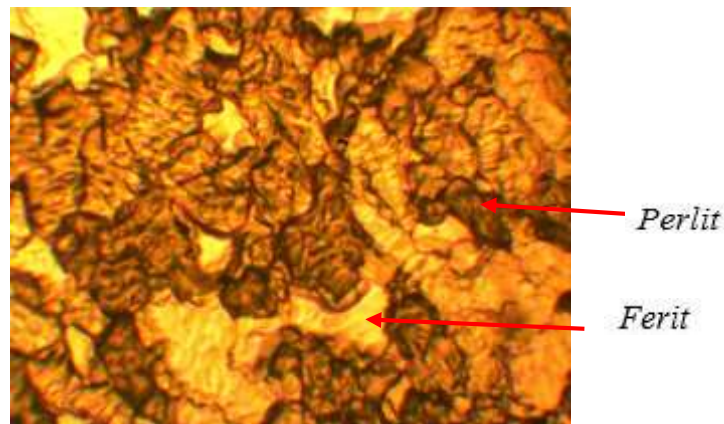
C. Struktur mikro pada weld metal sudut bevel 40°



Gambar 4.6 Foto Stuktur Mikro pada *Weld Metal* sudut bevel 40° perbesaran 400 X

Struktur mikro pada gambar di atas didominasi butir-butir *perlit* (berwarna gelap) dengan persentase sebesar 57.4% sedangkan *ferit* yang berwarna terang dengan persentase sebesar 42.11 %. Butir *ferit* cenderung lebih halus sehingga cenderung bersifat ulet sedangkan butir *perlit* lebih kasar sehingga cenderung bersifat lebih getas.

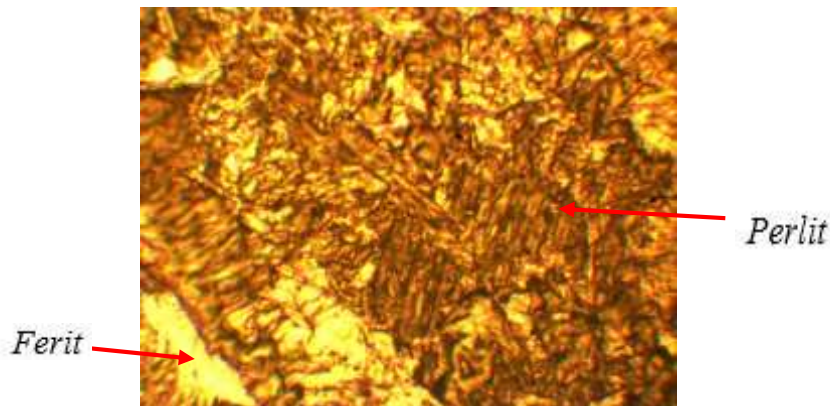
D. Struktur mikro pada HAZ sudut bevel 40°



Gambar 4.7 Foto Stuktur Mikro pada HAZ sudut bevel 40° perbesaran 400 X

Struktur mikro pada gambar di atas didominasi butir-butir *perlit* (berwarna gelap) dengan persentase sebesar 55.4% sedangkan *ferit* yang berwarna terang dengan persentase sebesar 44.56%. Butir *ferit* cenderung lebih halus sehingga cenderung bersifat ulet sedangkan butir *perlit* lebih kasar sehingga cenderung bersifat lebih getas.

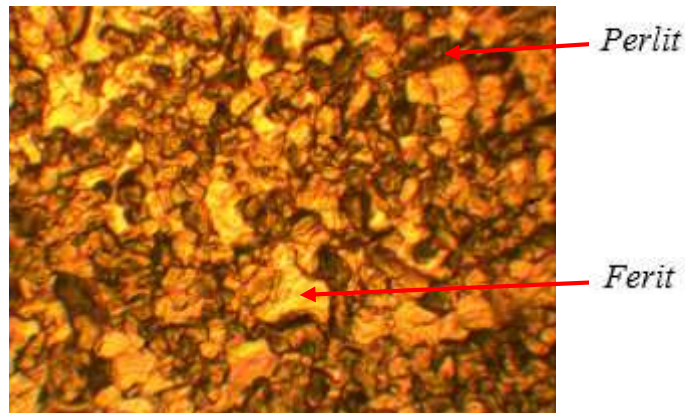
E. Struktur mikro pada weld metal sudut bevel 0°



Gambar 4.8 Foto Stuktur Mikro pada *Weld Metal* sudut bevel 0° perbesaran 400 X

Struktur mikro pada gambar di atas didominasi butir-butir *perlit* (berwarna gelap) dengan persentase sebesar 59.11% sedangkan *ferit* yang berwarna terang dengan persentase sebesar 40.89 %. Butir *ferit* cenderung lebih halus sehingga cenderung bersifat ulet sedangkan butir *perlit* lebih kasar sehingga cenderung bersifat lebih getas.

F. Struktur mikro pada HAZ sudut bevel 0°



Gambar 4.9 Foto Stuktur Mikro pada HAZ sudut bevel 0° perbesaran 400 X

Struktur mikro pada gambar di atas didominasi butir-butir *perlit* (berwarna gelap) dengan persentase sebesar 77.4 % sedangkan *ferit* yang berwarna terang dengan persentase sebesar 22.56 %. Butir *ferit* cenderung lebih halus sehingga cenderung bersifat ulet sedangkan butir *perlit* lebih kasar sehingga cenderung bersifat lebih getas.

Dari pengolahan data struktur mikro dengan metode *point counting* didapatkan bahwa di bagian *weld metal* sudut bevel 60° memiliki fasa ferrite terendah yaitu 33.11% dan juga terbentuk fasa martensit yaitu terjadinya pendinginan cepat sehingga material bersifat getas hal ini dikarenakan sudut bevel 60° memiliki luas penampang pada bagian las lebih besar dibandingkan dengan sudut bevel 40° dan 0° sehingga *cooling rate* terjadi lebih cepat menyebabkan pendinginan pun terjadi lebih cepat. Pada sudut

bevel 0° di bagian HAZ memiliki fasa ferrite terendah yaitu 22.56%. Besarnya luasan HAZ dipengaruhi oleh masukan panas yang dikenakan pada material. Semakin besar masukan panas, maka semakin besar pula luasan HAZ yang terbentuk. Hal ini dapat menurunkan sifat mekanik dari material. Penurunan sifat mekanik ini akibat dari laju pendinginan pada daerah HAZ yang relatif lebih cepat sehingga menyebabkan berubahnya struktur kristal HAZ menjadi lebih besar.

Semakin besar struktur kristal maka material juga akan semakin getas karena hydrogen dapat masuk di celah-celah struktur kristal mengakibatkan mudah terjadi retak. Bentuk dan ukuran butir serta kandungan ferrite pada daerah HAZ ini mempunyai nilai yang berbeda jika dibandingkan dengan bentuk dan ukuran butir pada daerah weld metal. Hal ini dikarenakan daerah HAZ mengalami siklus termal pengelasan. Semakin besar masukan panas yang dikenakan pada material akan menyebabkan luasan HAZ menjadi lebih besar dan merubah struktur mikro dari material menjadi butir-butir yang kasar.

Oleh karena panas yang diterima oleh daerah HAZ diserap oleh daerah base metal, menyebabkan daerah ini mengalami proses pendinginan cepat. Karena proses pendinginan cepat ini, maka material akan mengalami reaksi eutektoid dimana austenit tidak ada yang bertransformasi allotropik menjadi ferrit terlebih dahulu tetapi langsung berubah menjadi perlit.

4.4 Analisa Hasil Pengujian Impact

4.4.1 Proses Uji Impact

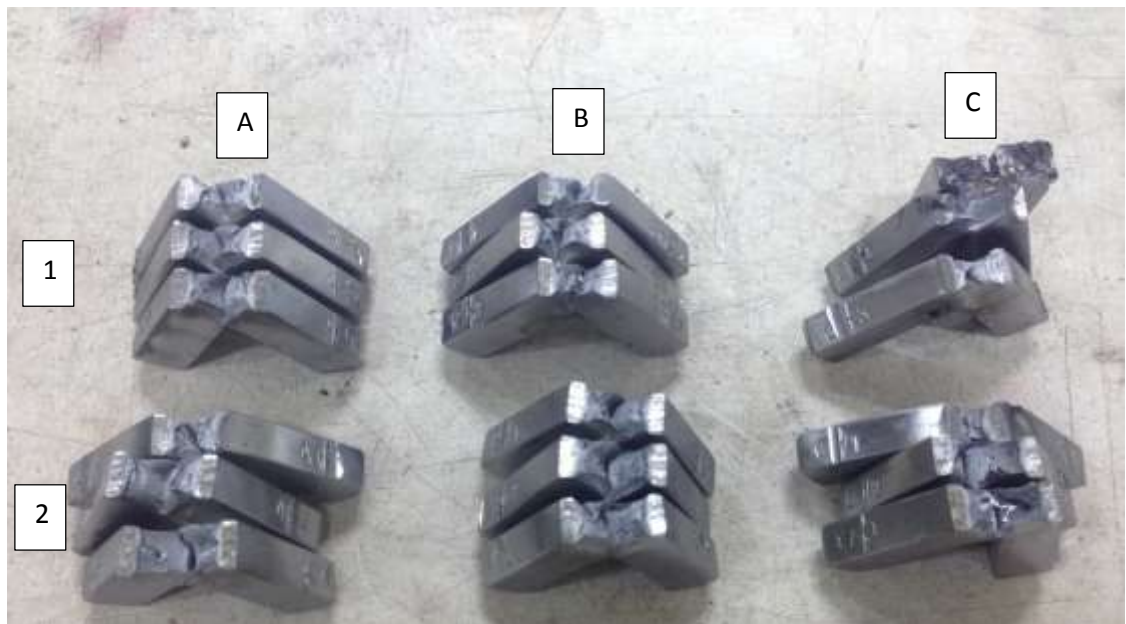


Gambar 4.10 Proses Uji *Impact* metode Charpy

Proses uji *impact* ini dilakukan pada 18 spesimen yang terdiri dari 3 spesimen bagian weld metal dan 3 spesimen bagian HAZ pada masing – masing variasi sudut bevel. Pengujian dilakukan di laboratorium konstruksi dan kekuatan Teknik Perkapalan – FTK ITS.

Pada uji *impact* terjadi proses penyerapan energi yang besar ketika beban menumbuk spesimen. Energi yang diserap material ini dapat dihitung dengan menggunakan prinsip perbedaan energi potensial. Dasar pengujiannya yakni penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi.

Pada pengujian *impact* ini banyaknya energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan *impact* atau ketangguhan bahan tersebut. Bandul ini akan memukul benda uji yang diletakkan semula dengan energi yang sama. Energi bandul akan diserap oleh benda uji yang dapat menyebabkan benda uji patah tanpa deformasi (getas) atau pun benda uji tidak sampai putus yang berarti benda uji mempunyai sifat keuletan yang tinggi.



Gambar 4.11 Hasil Patahan Spesimen Akibat Uji *Impact*

Pada gambar 4.11 menunjukkan hasil patahan spesimen setelah proses uji *impact*. Spesimen A adalah sudut bevel 60° , spesimen B adalah sudut bevel 40° dan spesimen C adalah sudut bevel 0° .

Pada baris 1 menunjukkan spesimen bagian *weld metal* dan pada baris 2 menunjukkan spesimen bagian HAZ. Patahan yang dialami oleh spesimen A dan spesimen B hampir sama namun jauh berbeda dengan patahan pada spesimen C, terlihat pada bagian *weld* dari spesimen C mengalami patah

sempurna yang berarti bahwa spesimen tersebut sangat getas. Permukaan patah membantu untuk menentukan kekuatan *impact* dalam hubungannya dengan temperatur transisi bahan. Daerah transisi yaitu daerah dimana terjadi perubahan patahan ulet ke patahan getas. Bentuk perpatahan dapat dilihat langsung dengan mata telanjang atau dapat pula dengan bantuan mikroskop.

4.4.2 Analisa Data Hasil Uji *Impact*

Hasil dari pengujian ketangguhan *impact* berupa tenaga yang diserap (W) dalam satuan Joule dan nilai pukul takik (K) dalam satuan Joule/mm².

Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel di bawah ini :

Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Impact*

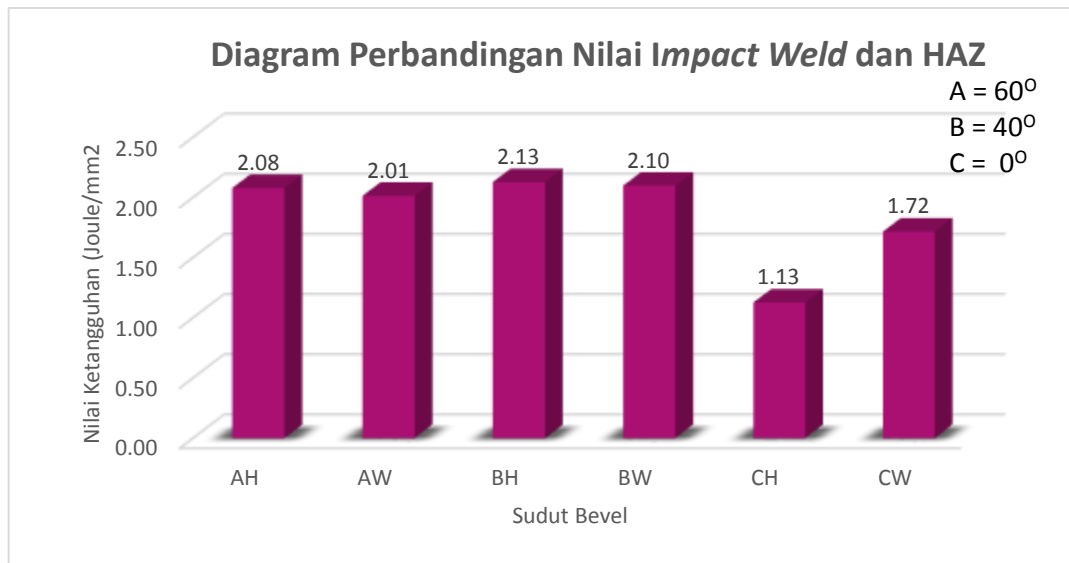
Nama	Luas Penampang (mm ²)	<i>Impact Energy</i> (Joule)	Nilai Ketangguhan (Joule/mm ²)
AH 1	60.4	120	1.99
AH2	60.56	127	2.10
AH3	60.48	130	2.15
Rata - rata		125.67	2.08
AW1	60.4	136	2.25
AW2	60.24	130	2.16
AW3	60.16	98	1.63
Rata -rata		121.3	2.01
BH1	60.4	124	2.05
BH2	60.48	133	2.20

BH3	60.4	128.5	2.13
Rata - Rata		128.5	2.13
BW1	60	129.6	2.16
BW2	60.16	111	1.85
BW3	60.32	138	2.29
Rata - rata		126.2	2.10
CH1	60.16	7.4	0.12
CH2	60.24	69	1.15
CH3	60	126.5	2.11
Rata - rata		67.6	1.13
CW1	60.08	132.8	2.21
CW2	60.32	107	1.77
CW3	60.16	70	1.16
Rata - rata		103.2	1.72

Keterangan :

AH1 ; AH2 ; AH3 = Spesimen A, HAZ sudut bevel 60°
 AW1; AW2 ; AW3 = Spesimen A, Weld, sudut bevel 60°
 BH1 ; BH2 ; BH3 = Spesimen B, HAZ, sudut bevel 40°
 BW1; BW2 ; BW3 = Spesimen B, Weld, sudut bevel 40°
 CH1 ; CH2 ; CH3 = Spesimen C, HAZ, sudut bevel 0°
 CW1; CW2 ; CW3 = Spesimen C, Weld, sudut bevel 0°

Berdasarkan Tabel 4.1 maka dapat dibuat diagram pada gambar 4.12



Gambar 4.12 Diagram perbandingan nilai *impact weld metal* dan HAZ

Pengujian *Impact* dilakukan di bagian *weld* dan HAZ pada setiap spesimen. Dari diagram perbandingan sudut bevel terhadap nilai impact pada material A sudut bevel 60° menunjukkan nilai rata – rata pada HAZ sebesar 2.08 J/mm² dan nilai rata – rata pada weld sebesar 2.01 J/mm². Pada material B sudut bevel 40° menunjukkan nilai rata – rata pada HAZ sebesar 2.13 J/mm² dan weld sebesar 2.10 J/mm² sedangkan pada material C sudut bevel 0° menunjukkan nilai rata – rata pada HAZ sebesar 1.13 J/mm² dan pada weld sebesar 1.72 J/mm².

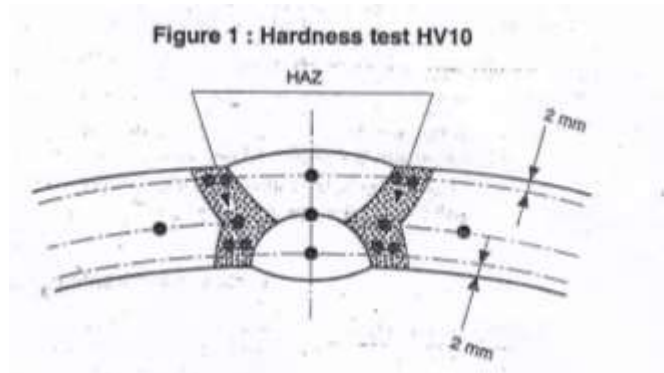
Hasil pengujian *impact* pada penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai impact untuk masing-masing variasi sudut bevel dengan tingkat prosentase yang berbeda-beda. Penurunan nilai impact ini disebabkan oleh peningkatan nilai persentase fase perlit pada masing-masing variasi sudut bevel. Fase perlit menyebabkan naiknya nilai kekerasan. Semakin tinggi nilai kekerasan suatu material menggambarkan bahwa material tersebut semakin kuat, tetapi nilai ketangguhannya akan menurun. Nilai ketangguhan (fracture toughness) merupakan gambaran seberapa besar ketahanan suatu material

untuk menahan perambatan retak. Semakin besar nilai fracture toughness-nya berarti semakin baik material tersebut, karena ketahanan terhadap laju retak juga semakin tinggi.

Dari diagram pada gambar 4.12 dapat dianalisa bahwa nilai ketangguhan di bagian *weld metal* maupun HAZ pada sudut bevel 40° lebih unggul daripada sudut bevel 60° dan sudut bevel 0°. Hal ini dikarenakan sudut bevel 40° memiliki penetrasi las yang cukup baik. Selain itu berdasarkan hasil analisa metalografi struktur mikro menunjukkan bahwa nilai persentase ferit di bagian *weld metal* maupun HAZ pada sudut bevel 40° lebih tinggi daripada sudut bevel 60° dan sudut bevel 0° sehingga cenderung bersifat lebih ulet. Keunggulan lain dari sudut bevel 40° yaitu pada saat pengelasan memerlukan relatif lebih sedikit kawat las sehingga penyelesaiannya lebih cepat, lebih menghemat waktu, menghemat biaya produksi dan pada akhirnya lebih efisien. Sedangkan pada sudut bevel 0° menunjukkan nilai ketangguhan paling rendah hal ini dikarenakan sudut bevel 0° memiliki *gap* yg cukup besar yaitu 6 mm sehingga penetrasi las tidak penuh dan cukup sulit sehingga menyebabkan banyak cacat. Selain itu berdasarkan hasil metalografi struktur mikro baik *weld metal* maupun HAZ sudut bevel 0° memiliki nilai perlite lebih tinggi daripada nilai ferrite sehingga cenderung lebih getas.

4.5 Analisa Hasil Pengujian Kekerasan (Vickers)

4.5.1 Analisa Hasil Pengujian Kekerasan (Vickers) pada Weld Metal

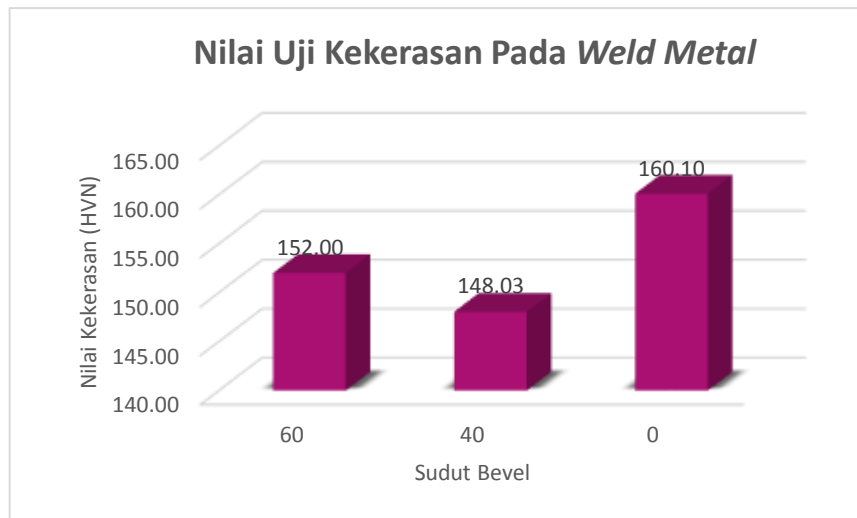


Gambar 4.13 Ketentuan Posisi Pengujian Kekerasan Vickers

Tabel 4.2 Hasil Uji Kekerasan pada *weld metal* dalam satuan HVN atau kg/mm^2

Garis	Titik	Daerah	Sudut Bevel		
			60°	40°	0°
Top	1	Weld Metal	132.9	114.8	152.4
Middle	2		161.1	152.30	177
Bottom	3		162	177	150.9
Rata-rata			152.00	148.03	160.10

Data-data dari Tabel 4.2 diatas dapat selanjutnya dimasukkan ke dalam diagram pada gambar 4.14 :



Gambar 4.14 Diagram pengaruh sudut bevel pada weld metal terhadap nilai kekerasan

Dari diagram pada gambar 4.14 menunjukkan nilai kekerasan pada *weld metal* dengan nilai terendah yaitu sudut bevel 40° sebesar 148.03 kg/mm² lalu pada sudut 60° sebesar 152 kg/mm² dan nilai tertinggi pada sudut bevel 0° sebesar 160.1 kg/mm². Hal ini menunjukkan bahwa sudut bevel 0° bersifat paling getas sedangkan sudut 40° bersifat paling ulet.

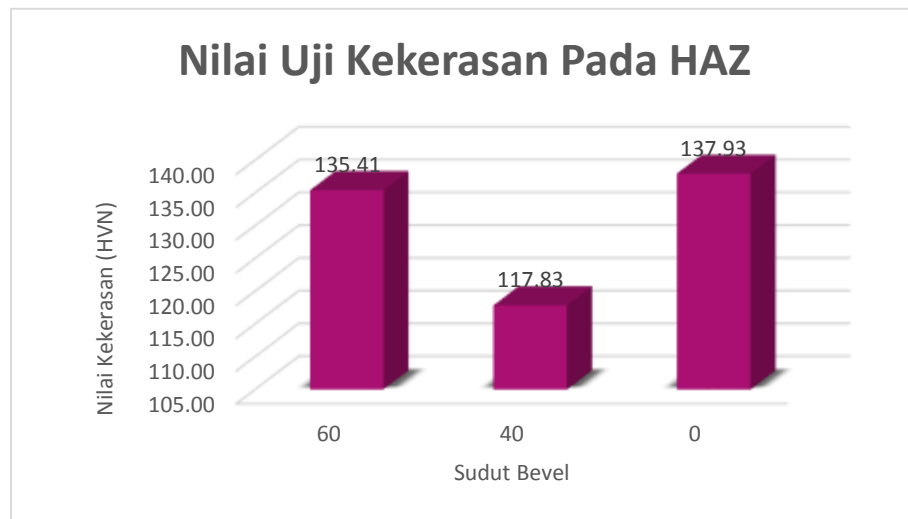
4.5.2 Analisa Hasil Pengujian Kekerasan (Vickers) Pada HAZ

Tabel 4.3 Hasil Uji Kekerasan pada HAZ dalam satuan HVN atau kg/mm²

Garis	Titik	Daerah	Sudut Bevel		
			60°	40°	0°
Top	1	HAZ	119.2	103.3	129.2
	2		128.7	103.7	134.1
	3		106.2	92.7	114.5
	4		111.8	79.5	103.2
Rata-rata			116.475	94.8	120.25
Middle	1	HAZ	157	115.4	124.4
	2		129.6	124.6	175.1

Rata-rata			143.30	120	149.75
Bottom	1	HAZ	162.4	124.1	139
	2		156.3	125.5	154.5
	3		140	185.3	144.2
	4		127.1	119.9	137.4
Rata-rata			146.45	138.70	143.78
Rata-rata total HAZ			135.41	117.83	137.93

Data-data dari Tabel 4.3 diatas dapat selanjutnya dimasukkan ke dalam diagram pada gambar 4.15 :



Gambar 4.15 Diagram pengaruh sudut bevel pada HAZ terhadap nilai kekerasan

Dari diagram pada gambar 4.15 menunjukkan nilai kekerasan pada HAZ dengan nilai terendah yaitu sudut bevel 40° sebesar 117.83 kg/mm² lalu pada sudut bevel 60° sebesar 135.41 kg/mm² dan nilai tertinggi pada sudut bevel 0° sebesar 137.93 kg/mm². Hal ini menunjukkan bahwa sudut bevel 0° bersifat paling getas sedangkan sudut 40° bersifat paling ulet.

Dari hasil keseluruhan pengujian kekerasan di bagian *weld* maupun HAZ menunjukkan nilai kekerasan tertinggi pada sudut bevel 0° yaitu 160.1 HV untuk bagian *weld* dan 137.93 HV pada bagian HAZ. Hal ini membuktikan

bahwa sudut 0° memiliki sifat paling getas diantara sudut 40° dan 0° dikarenakan memiliki nilai kekerasan paling tinggi namun memiliki nilai ketangguhan paling rendah. Hal lain ditunjukkan pada sudut bevel 40° karena memiliki nilai kekerasan terendah yaitu 148.03 HV di bagian weld dan 117.83 HV di bagian HAZ namun memiliki nilai ketangguhan yg tinggi yang mengartikan bahwa sudut ini bersifat paling ulet dibandingkan sudut 60° dan 0° .

LAMPIRAN A

PROSES PENGELASAN, PEMOTONGAN MATERIAL DAN PEMOLESAN

Dalam penelitian pengelasan kali ini sudut bevel yang digunakan untuk pengelasan adalah 0° , 40° dan 60°



Gambar 1 Pengelasan FCAW



Gambar 2 Pengelasan SMAW



Gambar 3 Proses pembersihan dengan Gerinda pada Pipa API 5L Grade X42



Gambar 4 Elektroda untuk pengelasan SMAW yaitu E7016



Gambar 5 Elektroda untuk pengelasan FCAW yaitu E71T-1C



Gambar 6 Hasil keseluruhan pengelasan pada pipa API 5L Grade X42



Gambar 7 Proses pemotongan dengan gergaji pada pipa API 5L Grade X42



Gambar 8 Proses pemolesan pada spesimen



Gambar 9 Proses pengolesan cairan etsa (HNO_3 dan Alkohol) pada spesimen

LAMPIRAN B

LAPORAN HASIL UJI RADIOGRAFI

Lampiran Hasil laporan uji Radiografi (NDT)

ROBUTECH		RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT				Sheet 1 of 1								
Customer : _____		Report No. : 001-RT/RBT-TA/IV/16												
Project Name : TUGAS AKHIR		Drawing No. : _____												
Location : SURABAYA		Procedure No. : RBT-P-15												
Work Order No. : _____		Applicable Code : API 1104												
PART		RADIATION SOURCE		RADIOGRAPHIC FILM		LEAD SCREEN								
Name : PIPE	Isotope Type : -	Brand : AGFA	Thickness : 0.125 mm											
OD : 6"	Activity : -	Film Type : D7	Placement : <input checked="" type="checkbox"/> Front											
Base Mat'l Type : C/S	X-ray Equipment : Eresco	Dimension : 4X10"	Placement : <input checked="" type="checkbox"/> Back											
Base Mat'l Thk. : 31 mm	Voltage : 160 Kv	No. of Film in a Cassette : 1												
Reinforcement : -	Current : 3 mA	Lead letter "B" used : -												
Backing : Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Source Size (mm) : 3	Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>												
TECHNIQUE		EXPOSURE TECHNIQUE SKETCH		IMAGE QUALITY INDICATOR										
Exposure : Single Wall <input type="checkbox"/> Double Wall <input checked="" type="checkbox"/>			Wire Set: 3B Wire ID: 2											
Viewing : Single Wall <input type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/>			Dia.: 0.33 mm											
Exposure Time : 3 min. 30 sec.	Panoramic <input type="checkbox"/> SWSV <input type="checkbox"/> SWSV <input type="checkbox"/> DWDV <input type="checkbox"/>		Hole Designation: _____											
Ug : 0.51 mm	DWSV <input checked="" type="checkbox"/> DWSV <input type="checkbox"/> DWDV <input type="checkbox"/>		Visible Hole: _____											
SSOF : 6.5 Inch	Note for sketch: 1. SWSV: Single Wall Single Viewing 2. DWSV: Double Wall Single Viewing 3. Other than listed (Please Sketch)		1T <input type="checkbox"/> 2T <input type="checkbox"/> 4T <input type="checkbox"/>											
Note: _____				Placement: Source Side <input type="checkbox"/> Film Side <input checked="" type="checkbox"/>										
ISO : _____				DENSITY: Min : 2 Max : 4										
SSOF : _____														
Date of RT	Welder Stamp	Identification		Sensitivity Wire ID/Hole	Discontinuity						Result		Remark / Comment	
		Joint Name	Interest Area		IP	IP	RC	UC	P	INC	OL	Acc		Rep
19/04/16	-	KIYAH	0-6	6 Wire	v							-	Rep	FAILED
		0"	6-12	6 Wire	v							-	Rep	
			12-0	6 Wire	v							-	Rep	
	-	KIYAH	0-6	6 Wire	v							-	Rep	FAILED
		40"	6-12	6 Wire	v							-	Rep	
			12-0	6 Wire	v							-	Rep	
	-	KIYAH	0-6	6 Wire								Acc	-	
		60"	6-12	6 Wire	v							-	Rep	
			12-0	6 Wire					v			-	Rep	ELONGATED 8 MM
Type of Discontinuity : IF : Incomplete Fusion, IP: Incomplete Penetration, UC: Undercut, RC: Root Concavity, P: Porosity, INC: Inclusion, CR: Crack Welding Process(es) : SMAW & FCAW Total Film/s : 4" x 10" = 9 Sheet/s 4" x 15" = - Sheet/s														
Examined By:		Reviewed/Witnessed By:		Reviewed/Witnessed By:		Reviewed/Witnessed By:								
 Tuguh Dhanu Gendhi NDT Level II ISO 12010:1 Date: 20-04-2016														

Gambar 10 Hasil Uji Radiografi Pada Pipa API 5L Grade X42

LAMPIRAN C

LAPORAN HASIL UJI IMPACT



LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4033

REPORT ON TEST RESULT NO. : /IT2.4.1.1/PM.05.02/20

DATE : 13 Juni 2016
ORDER FROM : Tugas Akhir Rekrutmen
TEST STANDARD : ASTM E 23
MATERIAL SPECS. : API SL Grade X42
PROJECT : Tugas Akhir

IMPACT TEST								
NO	IDENTIFICATION	LENGTH (mm)	WIDTH (mm)	THICK (mm)	IMPACT ENERGY (JOULE)	TEMPERATUR (°C)	WID (mm)	LATERAL EXPANTION
1	AH 1	55.6	7.56	8	120	28	9.87	91.04
2	AH 2	55.2	7.57	8	127	28	9.26	86.22
3	AH 3	55.06	7.54	8	130	28	9.22	85.07
1	AW 1	55.53	7.55	8	136	28	9.45	87.68
2	AW 2	55.48	7.53	8	130	28	9.61	87.89
3	AW 3	55.70	7.52	8	130	28	9.28	89.28
1	BH 1	55.20	7.55	8	124	28	9.2	84.65
2	BH 2	55.28	7.56	8	133	28	9.55	88.35
3	BH 3	55.44	7.55	8	128.5	28	9.73	85.83
1	BW 1	55.60	7.50	8	129.6	28	9.35	82.83
2	BW 2	55.45	7.52	8	111	28	9.44	85.58
3	BW 3	55.76	7.54	8	138	28	9.44	85.58
1	CH 1	55.93	7.52	8	7.4	28	7.63	51.91
2	CH 2	55.48	7.53	8	6.2	28	7.16	64.17
3	CH 3	55.38	7.50	8	126.5	28	9.65	84.65
1	CW 1	55.26	7.51	8	132.8	28	9.03	88.84
2	CW 2	55.24	7.54	8	107	28	9.06	89.84
3	CW 3	55.43	7.52	8	70	28	8.55	70.55
Witnessed by :					The Laboratory Of Ships Strength And Construction ITS Kelautan ITS			
1								
2								
3								
4								
5								

Gambar 11 Laporan Hasil Uji Impact

$$K = \frac{W}{A}$$

A= Luas penampang mula dibawah takikan (mm²)

$$A = a \times T1$$
$$Tl = \text{lebar spesimen (mm)}$$

Name	Length	T1	wd 1	kedalaman	thick	Lateral Expansion	Impact energy	Luas penampang	nilai ketangguhan
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(joule)	(mm ²)	(joule/mm ²)
AH1	55.6	7.55	9.87	2	8	91.34	120	60.4	1.99
AH2	55.2	7.57	9.76	2	8	86.22	127	60.56	2.10
AH3	55.06	7.56	9.72	2	8	85.04	130	60.48	2.15
								Rata - Rata	2.08
AW1	55.53	7.55	9.65	2	8	82.68	136	60.4	2.25
AW2	55.48	7.53	9.61	2	8	81.89	130	60.24	2.16
AW3	55.7	7.52	9.28	2	8	69.29	98	60.16	1.63
								Rata - Rata	2.01
BH1	55.2	7.55	9.7	2	8	84.65	124	60.4	2.05
BH2	55.28	7.56	9.55	2	8	78.35	133	60.48	2.20
BH3	55.44	7.55	9.73	2	8	85.83	128.5	60.4	2.13
								Rata - Rata	2.13
BW1	55.6	7.5	9.35	2	8	72.83	129.6	60	2.16
BW2	55.45	7.52	9.44	2	8	75.59	111	60.16	1.85
BW3	55.46	7.54	9.46	2	8	75.59	138	60.32	2.29
								Rata - Rata	2.10
CH1	55.53	7.52	7.67	2	8	5.91	7.4	60.16	0.12
CH2	55.48	7.53	9.16	2	8	64.17	69	60.24	1.15
CH3	55.38	7.5	9.65	2	8	84.65	126.5	60	2.11
								Rata - Rata	1.13
CW1	55.26	7.51	9.03	2	8	59.84	132.8	60.08	2.21
CW2	55.24	7.54	9.06	2	8	59.84	107	60.32	1.77
CW3	55.23	7.52	8.55	2	8	40.55	70	60.16	1.16
								Rata - Rata	1.72

SERTIFIKAT KALIBRASI CALIBRATION CERTIFICATE	
Nomor : 3-09-15 - 0286	
ALAT Equipment	
1. Nama Name	: Mesin Uji Impak Charpy
2. Kapasitas Capacity	: 150 Joule
3. Tipe/Model Type/Model	: PW 15
4. Nomor Seri Serial Number	: 1822/829
5. Merek/Buatan Manufacturer	: Walpert/ Germany
6. Ukuran Dalam Internal Dimension	: -
7. Pengontrol Suhu Temperature Control	: -
8. Lain-lain Other	: -
PEMILIK Owner	
1. Nama Name	: LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN JURUSAN TEKNIK PERNAKALAN FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS
2. Alamat Address	: Kampus ITS Sepuluh Nopember
STANDAR Standard	
1. Nama Name	: Proving Ring No : 7364, Stop Watch No : SW01-3001, Mistar Ukur No : 30MM/997, Angka Sorong No : E77641, Alat Ukur Suhu No : 180-907, Dial Gauge No : 06376
2. Ketelusuran Traceability	: Hasil kalibrasi yang diperoleh terdapat kepastian pengukuran SI melalui Profesi KIM-LIP, Serpong, JK-062-00N, JK-001-ITN
TANGGAL DITERIMA Date of acceptance	: 15 April 2015
TANGGAL KALIBRASI Date of Calibration	: 16 April 2015
KONDISI LINGKUNGAN KALIBRASI Environment condition of Calibration	
: Suhu udara : 29.4 - 29.6 °C	
LOKASI KALIBRASI Location of Calibration	
: Lab Uji Konstruksi dan Kekuatan Kapal, Fakultas Teknologi Kelautan ITS Sepuluh Nopember	
METODA KALIBRASI Calibration method	
: PC-309-02	
ACUAN Reference	
: ITS ITS 10045-2 : 1993, Charpy impact test on metallic materials. Method for the verification of impact testing machines. ISO 148-2:2006	
HASIL KALIBRASI DAN KETIDAKPASTIAN KALIBRASI Result of Calibration and uncertainty of Calibration	
(Terlampir) (Attached)	
DITERBITKAN TANGGAL : 27 April 2015	
 Kepala Bidang Standardisasi, JATNO BUSTOMI NID : 19650423 199403 1 004	
lampiran 1 dan 2 Keterangan : 1. Laboratorium ini di akreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN) No. LK-022-ITN. 2. Dituntut memproduksi sertifikat ini tanpa izin tertulis dari B-T kecuali secara keseluruhan. 3. Hasil kalibrasi ini tidak untuk digunakan dan hanya berlaku untuk alat yang bersangkutan.	

Gambar 12 Sertifikat Kalibrasi Mesin Uji Impact



**JASA
KALIBRASI
INDONESIA, PT**



Komite Akreditasi Nasional
Laboratorium Kalibrasi
LK-124/09

Certificate No. : C.14.08.227
Date : 12 August 2014
Page : 1 of 2

CALIBRATION CERTIFICATE

Client (User)	: Laboratorium Konstruksi & Kekuatan
	: Teknik Perkapalan - Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Address	: Kampus ITS Sukotilo-Surabaya
Instrument description	: Charpy Pendulum Impact Test
Brand/Type	: Otto Wolpert-Werke GmbH/ PW15
Serial No.	: 1822/829
Date of instrument receipt	: 11 August 2014
Calibration date	: 11 August 2014
Re-Calibration date	: 10 August 2015
Calibration location	: Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan
Calibration method	: ISO 148 - 2 : 2000
	: Metallic materials - Charpy pendulum impact test
	: Part 2 : verification of testing machines
Environmental	: Temp. : 28°C Humidity : 55%

CALIBRATION RESULT SEE PAGE 2 OF 2

NOTES

- Traceability - unit measurement (J) traceable to SI Unit through Caltest LK-053-10N
- Compliance - the Charpy pendulum impact test meets the requirement of referenced calibration method (limited direct verification), ISO 148 - 2 : 2000
- The results in this calibration certificate relate only to the instrument to be calibrated
- The calibration system supporting this certificate complies with ISO 17025 : 2008

PT. JASA KALIBRASI INDONESIA



PURI INDAH, BLOK F No.3 SUKRO, SIDOARJO 61224 JAWA TIMUR, INDONESIA
Telp. +62-31-8953135 Fax. +62-31-8953135 Email. info@jakindo.co.id, gatro@jakindo.co.id
www.jakindo.co.id

Gambar 13 Sertifikat Kalibrasi Mesin Uji Impact

LAMPIRAN D

SERTIFIKAT MATERIAL PIPA API 5L GRADE X42

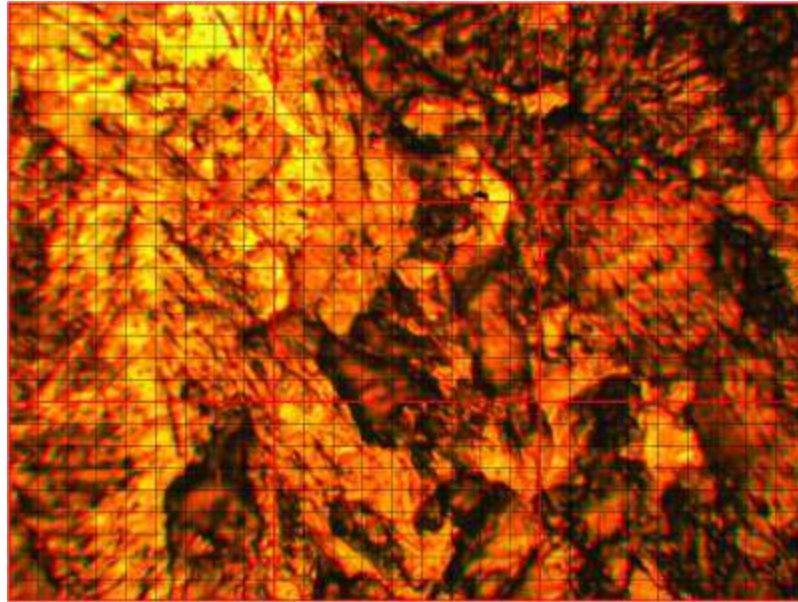
LAMPIRAN E

LAPORAN HASIL UJI KEKERASAN (VICKERS)

LAMPIRAN F

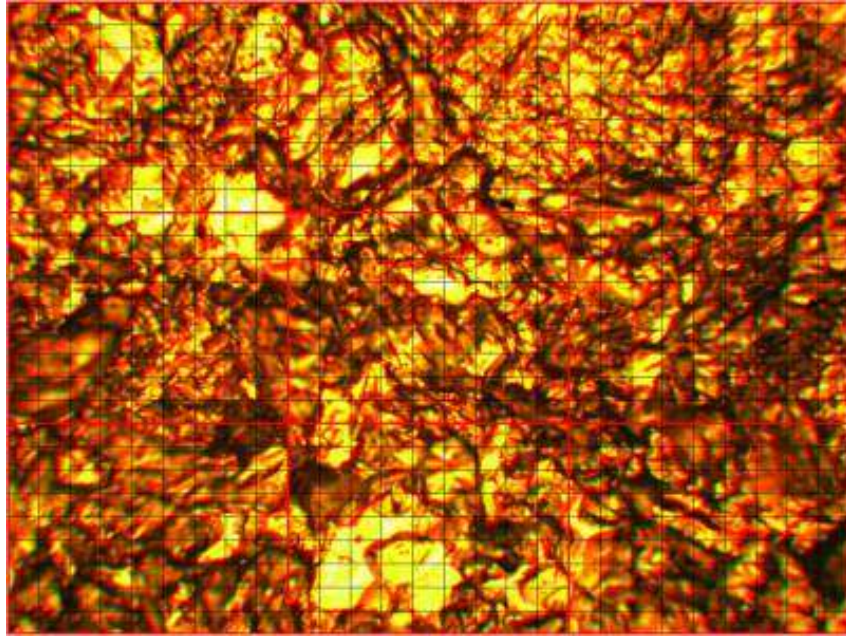
PERHITUNGAN METALOGRAFI STRUKTUR MIKRO

1. Lampiran Gambar Struktur Mikro Metode Point Counting / Analisa Kuantitatif Mikrostruktur Pada Weld Metal dengan Sudut Bevel 60°



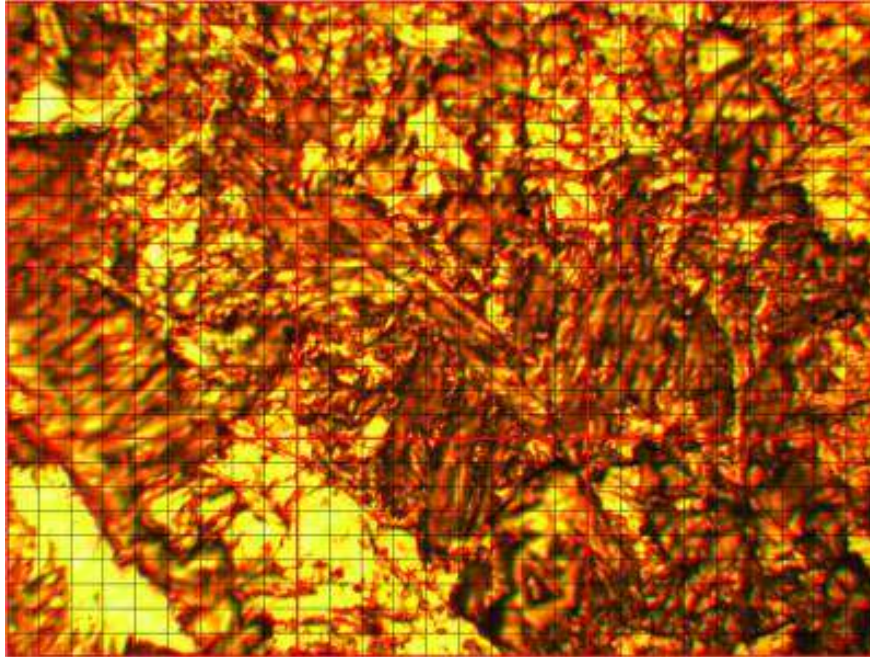
1. Buat kotak berukuran 3x3 pada gambar yang nantinya berjumlah 9 kotak
2. Potong kotak 1 dan buat kotak lagi yang berukuran 9x9 yang nantinya akan ada 81 kotak lebih kecil yang terdapat 100 titik.
3. Menghitung ferrite = $\frac{\text{Jumlah titik di bagian terang}}{100}$
4. Menghitung Perlite = $\frac{\text{Jumlah titik di bagian gelap}}{100}$
5. Ulangi langkah 3 dan 4 untuk kesembilan kotak lainnya
6. Hasil perhitungan ferrite dan perlite di 9 kotak tersebut di rata- rata lalu dikali 100%

2. Lampiran Gambar Struktur Mikro Metode Point Counting / Analisa Kuantitatif Mikrostruktur Pada Weld Metal dengan Sudut Bevel 40°



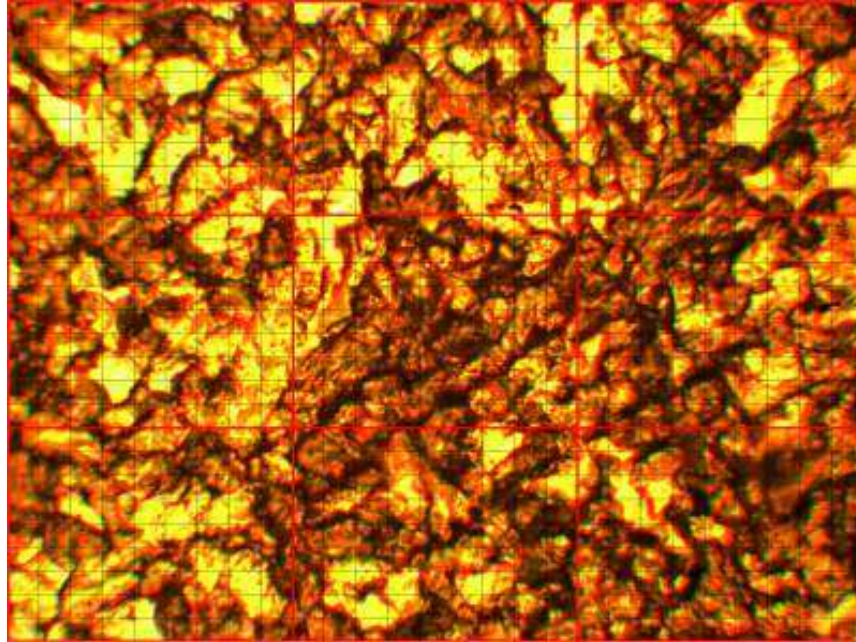
1. Buat kotak berukuran 3x3 pada gambar yang nantinya berjumlah 9 kotak
2. Potong kotak 1 dan buat kotak lagi yang berukuran 9x9 yang nantinya akan ada 81 kotak lebih kecil yang terdapat 100 titik.
3. Menghitung ferrite = $\frac{\text{Jumlah titik di bagian terang}}{100}$
4. Menghitung Perlite = $\frac{\text{Jumlah titik di bagian gelap}}{100}$
5. Ulangi langkah 3 dan 4 untuk kesembilan kotak lainnya
6. Hasil perhitungan ferrite dan perlite di 9 kotak tersebut di rata- rata lalu dikali 100%

3. Lampiran Gambar Struktur Mikro Metode Point Counting / Analisa Kuantitatif Mikrostruktur Pada Weld Metal dengan Sudut Bevel 0°



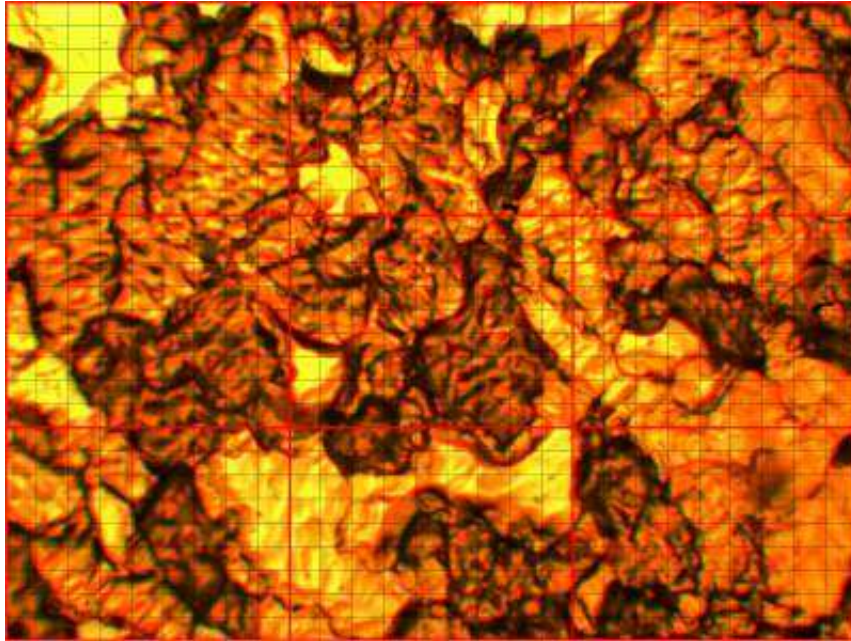
1. Buat kotak berukuran 3x3 pada gambar yang nantinya berjumlah 9 kotak
2. Potong kotak 1 dan buat kotak lagi yang berukuran 9x9 yang nantinya akan ada 81 kotak lebih kecil yang terdapat 100 titik.
3. Menghitung ferrite = $\frac{\text{Jumlah titik di bagian terang}}{100}$
4. Menghitung Perlite = $\frac{\text{Jumlah titik di bagian gelap}}{100}$
5. Ulangi langkah 3 dan 4 untuk kesembilan kotak lainnya
6. Hasil perhitungan ferrite dan perlite di 9 kotak tersebut di rata- rata lalu dikali 100%

4. Lampiran Gambar Struktur Mikro Metode Point Counting / Analisa Kuantitatif Mikrostruktur Pada HAZ dengan Sudut Bevel 60°



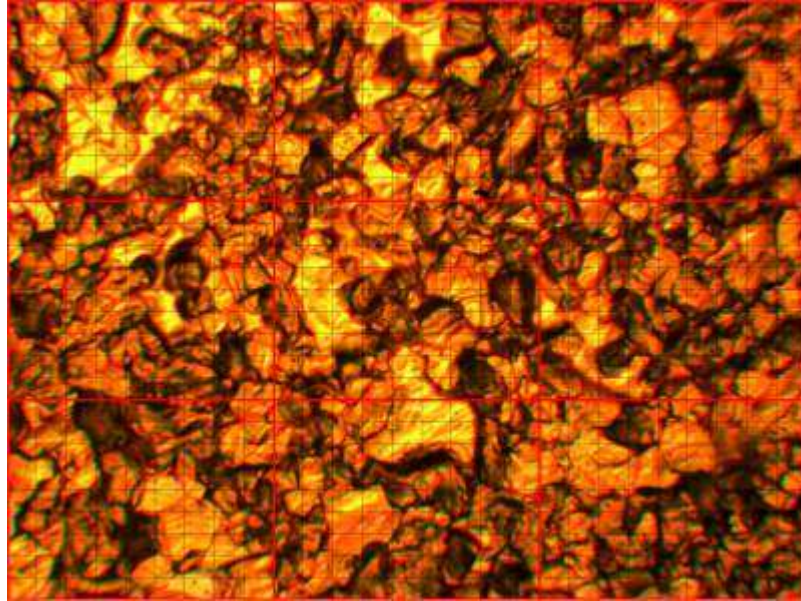
1. Buat kotak berukuran 3x3 pada gambar yang nantinya berjumlah 9 kotak
2. Potong kotak 1 dan buat kotak lagi yang berukuran 9x9 yang nantinya akan ada 81 kotak lebih kecil yang terdapat 100 titik.
3. Menghitung ferrite = $\frac{\text{Jumlah titik di bagian terang}}{100}$
4. Menghitung Perlite = $\frac{\text{Jumlah titik di bagian gelap}}{100}$
5. Ulangi langkah 3 dan 4 untuk kesembilan kotak lainnya
6. Hasil perhitungan ferrite dan perlite di 9 kotak tersebut di rata-rata lalu dikali 100%

5. Lampiran Gambar Struktur Mikro Metode Point Counting / Analisa Kuantitatif Mikrostruktur Pada HAZ dengan Sudut Bevel 40°



1. Buat kotak berukuran 3x3 pada gambar yang nantinya berjumlah 9 kotak
2. Potong kotak 1 dan buat kotak lagi yang berukuran 9x9 yang nantinya akan ada 81 kotak lebih kecil yang terdapat 100 titik.
3. Menghitung ferrite = $\frac{\text{Jumlah titik di bagian terang}}{100}$
4. Menghitung Perlite = $\frac{\text{Jumlah titik di bagian gelap}}{100}$
5. Ulangi langkah 3 dan 4 untuk kesembilan kotak lainnya
6. Hasil perhitungan ferrite dan perlite di 9 kotak tersebut di rata- rata lalu dikali 100%

6. Lampiran Gambar Struktur Mikro Metode Point Counting / Analisa Kuantitatif Mikrostruktur Pada HAZ dengan Sudut Bevel 0°



1. Buat kotak berukuran 3x3 pada gambar yang nantinya berjumlah 9 kotak
2. Potong kotak 1 dan buat kotak lagi yang berukuran 9x9 yang nantinya akan ada 81 kotak lebih kecil yang terdapat 100 titik.
3. Menghitung ferrite = $\frac{\text{Jumlah titik di bagian terang}}{100}$
4. Menghitung Perlite = $\frac{\text{Jumlah titik di bagian gelap}}{100}$
5. Ulangi langkah 3 dan 4 untuk kesembilan kotak lainnya
6. Hasil perhitungan ferrite dan perlite di 9 kotak tersebut di rata- rata lalu dikali 100%

7. Lampiran Perhitungan Metode Point Counting bagian Weld Metal pada sudut bevel 60°

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
A	1	8	2	0.56	0.44
	2	8	2		
	3	5	5		
	4	5	5		
	5	4	6		
	6	3	7		
	7	1	9		
	8	8	2		
	9	8	2		
	10	6	4		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
B	1	6	4	0.43	0.57
	2	7	3		
	3	5	5		
	4	4	6		
	5	4	6		
	6	3	7		
	7	5	5		
	8	4	6		
	9	3	7		
	10	2	8		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
C	1	4	6	0.32	0.68
	2	5	5		
	3	3	7		
	4	1	9		
	5	2	8		
	6	3	7		
	7	3	7		
	8	3	7		
	9	3	7		
	10	5	5		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
D	1	3	7	0.38	0.62
	2	3	7		
	3	4	6		
	4	1	9		
	5	3	7		
	6	3	7		
	7	4	6		
	8	6	4		
	9	5	5		
	10	6	4		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
E	1	6	4	0.38	0.62
	2	6	4		
	3	4	6		
	4	4	6		
	5	1	9		
	6	2	8		
	7	4	6		
	8	4	6		
	9	4	6		
	10	3	7		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
F	1	3	7	0.43	0.57
	2	2	8		
	3	5	5		
	4	7	3		
	5	2	8		
	6	3	7		
	7	7	3		
	8	4	6		
	9	6	4		
	10	4	6		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
G	1	1	9	0.23	0.77
	2	1	9		
	3	2	8		
	4	2	8		
	5	5	5		
	6	3	7		
	7	3	7		
	8	1	9		
	9	2	8		
	10	3	7		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Martensit	Total F/100	Total P/100	Total M/100
H	1	1	4	5	0.1	0.15	0.75
	2	1	1	8			
	3	1	1	8			
	4	1	1	8			
	5	1	2	7			
	6	1	1	8			
	7	1	1	8			
	8	1	1	8			
	9	1	1	8			
	10	1	2	7			

Part	Line	Ferrite	Perlite	Martensit	Total F/100	Total P/100	Total M/100
I	1	2	4	4	0.15	0.5	0.35
	2	1	5	4			
	3	2	5	3			
	4	1	5	4			
	5	2	5	3			
	6	1	6	3			
	7	2	4	4			
	8	1	6	3			
	9	1	6	3			
	10	2	4	4			

	Ferrite	Perlite	Martensit
Average	0.3311	0.5467	0.1222
Percentage (%)	33.11	54.67	12.22

8. Lampiran Perhitungan Metode Point Counting bagian Weld Metal pada sudut bevel 40°

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
A	1	5	5	0.51	0.49
	2	6	4		
	3	7	3		
	4	4	6		
	5	4	6		
	6	4	6		
	7	2	8		
	8	4	6		
	9	7	3		
	10	8	2		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
B	1	8	2	0.42	0.57
	2	7	3		
	3	6	4		
	4	7	3		
	5	1	9		
	6	1	8		
	7	4	6		
	8	3	7		
	9	2	8		
	10	3	7		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
C	1	3	7	0.36	0.64
	2	2	8		
	3	3	7		
	4	5	5		
	5	6	4		
	6	3	7		
	7	3	7		
	8	4	6		
	9	4	6		
	10	3	7		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
D	1	6	4	0.52	0.48
	2	7	3		
	3	7	3		
	4	5	5		
	5	5	5		
	6	3	7		
	7	6	4		
	8	6	4		
	9	1	9		
	10	6	4		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
E	1	6	4	0.37	0.6
	2	6	4		
	3	3	7		
	4	5	5		
	5	2	8		
	6	3	7		
	7	4	6		
	8	1	9		
	9	3	4		
	10	4	6		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
F	1	4	6	0.54	0.46
	2	4	6		
	3	4	6		
	4	7	3		
	5	6	4		
	6	7	3		
	7	8	2		
	8	9	1		
	9	2	8		
	10	3	7		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
G	1	6	4	0.41	0.59
	2	1	9		
	3	6	4		
	4	4	6		
	5	4	6		
	6	2	8		
	7	2	8		
	8	5	5		
	9	6	4		
	10	5	5		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
H	1	5	5	0.32	0.68
	2	3	7		
	3	4	6		
	4	3	7		
	5	0	10		
	6	4	6		
	7	3	7		
	8	2	8		
	9	2	8		
	10	6	4		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
I	1	6	4	0.34	0.66
	2	2	8		
	3	2	8		
	4	2	8		
	5	5	5		
	6	3	7		
	7	3	7		
	8	3	7		
	9	4	6		
	10	4	6		

	Ferrite	Perlite
Average	0.4211	0.5744
Percentage(%)	42.11	57.44

9. Lampiran Perhitungan Metode Point Counting bagian Weld Metal pada sudut bevel 0°

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
A	1	5	5	0.46	0.54
	2	4	6		
	3	5	5		
	4	4	6		
	5	6	4		
	6	5	5		
	7	4	6		
	8	2	8		
	9	4	6		
	10	7	3		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
B	1	7	3	0.37	0.63
	2	4	6		
	3	5	5		
	4	0	10		
	5	2	8		
	6	4	6		
	7	4	6		
	8	5	5		
	9	3	7		
	10	3	7		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
C	1	3	7	0.6	0.4
	2	6	4		
	3	7	3		
	4	7	3		
	5	6	4		
	6	7	3		
	7	7	3		
	8	7	3		
	9	7	3		
	10	3	7		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
D	1	5	5	0.39	0.61
	2	6	4		
	3	3	7		
	4	1	9		
	5	2	8		
	6	4	6		
	7	5	5		
	8	4	6		
	9	5	5		
	10	4	6		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
E	1	4	6	0.36	0.64
	2	4	6		
	3	4	6		
	4	4	6		
	5	6	4		
	6	4	6		
	7	2	8		
	8	3	7		
	9	2	8		
	10	3	7		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
F	1	3	7	0.46	0.54
	2	1	9		
	3	4	6		
	4	5	5		
	5	6	4		
	6	6	4		
	7	7	3		
	8	3	7		
	9	5	5		
	10	6	4		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
G	1	5	5	0.55	0.45
	2	9	1		
	3	7	3		
	4	2	8		
	5	4	6		
	6	4	6		
	7	7	3		
	8	6	4		
	9	5	5		
	10	6	4		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
H	1	6	4	0.27	0.73
	2	4	6		
	3	0	10		
	4	3	7		
	5	4	6		
	6	1	9		
	7	1	9		
	8	4	6		
	9	3	7		
	10	1	9		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
I	1	1	9	0.22	0.78
	2	2	8		
	3	1	9		
	4	2	8		
	5	5	5		
	6	3	7		
	7	1	9		
	8	1	9		
	9	2	8		
	10	4	6		

	Ferrite	Perlite
Average	0.4089	0.5911
Percentage	40.89	59.11

10. Lampiran Perhitungan Metode Point Counting bagian HAZ pada sudut bevel 60°

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
A	1	4	6	0.3	0.7
	2	5	5		
	3	4	6		
	4	3	7		
	5	2	8		
	6	4	6		
	7	1	9		
	8	2	8		
	9	2	8		
	10	3	7		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
B	1	2	8	0.19	0.81
	2	1	9		
	3	2	8		
	4	0	10		
	5	3	7		
	6	3	7		
	7	1	9		
	8	3	7		
	9	2	8		
	10	2	8		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
C	1	2	8	0.27	0.73
	2	1	9		
	3	3	7		
	4	6	4		
	5	4	6		
	6	2	8		
	7	2	8		
	8	1	9		
	9	2	8		
	10	4	6		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
D	1	2	8	0.21	0.79
	2	1	9		
	3	1	9		
	4	2	8		
	5	3	7		
	6	2	8		
	7	1	9		
	8	4	6		
	9	2	8		
	10	3	7		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
E	1	3	7	0.19	0.81
	2	2	8		
	3	1	9		
	4	2	8		
	5	2	8		
	6	3	7		
	7	3	7		
	8	1	9		
	9	1	9		
	10	1	9		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
F	1	1	9	0.34	0.66
	2	5	5		
	3	6	4		
	4	4	6		
	5	3	7		
	6	3	7		
	7	3	7		
	8	3	7		
	9	4	6		
	10	2	8		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
G	1	2	8	0.26	0.74
	2	1	9		
	3	2	8		
	4	4	6		
	5	3	7		
	6	4	6		
	7	4	6		
	8	2	8		
	9	1	9		
	10	3	7		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
H	1	3	7	0.33	0.67
	2	2	8		
	3	1	9		
	4	1	9		
	5	0	10		
	6	3	7		
	7	6	4		
	8	6	4		
	9	5	5		
	10	6	4		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
I	1	6	4	0.29	0.71
	2	6	4		
	3	1	9		
	4	2	8		
	5	3	7		
	6	3	7		
	7	4	6		
	8	1	9		
	9	1	9		
	10	2	8		

	Ferrite	Perlite
Average	0.26	0.735556
Percentage	26.44	73.6

11. Lampiran Perhitungan Metode Point Counting bagian HAZ pada sudut bevel 40°

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
A	1	4	6	0.45	0.55
	2	3	7		
	3	3	7		
	4	7	3		
	5	5	5		
	6	6	4		
	7	8	2		
	8	4	6		
	9	3	7		
	10	2	8		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
B	1	2	8	0.36	0.64
	2	2	8		
	3	2	8		
	4	4	6		
	5	2	8		
	6	5	5		
	7	6	4		
	8	4	6		
	9	6	4		
	10	3	7		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
C	1	3	7	0.54	0.46
	2	5	5		
	3	5	5		
	4	5	5		
	5	5	5		
	6	8	2		
	7	7	3		
	8	6	4		
	9	7	3		
	10	3	7		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
D	1	3	7	0.36	0.64
	2	3	7		
	3	4	6		
	4	3	7		
	5	3	7		
	6	5	5		
	7	4	6		
	8	4	6		
	9	2	8		
	10	5	5		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
E	1	5	5	0.42	0.58
	2	7	3		
	3	2	8		
	4	3	7		
	5	4	6		
	6	2	8		
	7	7	3		
	8	3	7		
	9	2	8		
	10	7	3		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
F	1	7	3	0.63	0.37
	2	7	3		
	3	6	4		
	4	7	3		
	5	9	1		
	6	7	3		
	7	7	3		
	8	4	6		
	9	6	4		
	10	3	7		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
G	1	1	9	0.33	0.67
	2	4	6		
	3	4	6		
	4	5	5		
	5	1	9		
	6	3	7		
	7	3	7		
	8	4	6		
	9	3	7		
	10	5	5		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
H	1	5	5	0.51	0.49
	2	8	2		
	3	4	6		
	4	7	3		
	5	2	8		
	6	7	3		
	7	4	6		
	8	7	3		
	9	3	7		
	10	4	6		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
I	1	4	6	0.41	0.59
	2	4	6		
	3	2	8		
	4	3	7		
	5	2	8		
	6	9	1		
	7	2	8		
	8	9	1		
	9	4	6		
	10	2	8		

	Ferrite	Perlite
Average	0.45	0.554444
Percentage	44.56	55.4

12. Lampiran Perhitungan Metode Point Counting bagian HAZ pada sudut bevel 0°

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
A	1	4	6	0.33	0.67
	2	2	8		
	3	3	7		
	4	3	7		
	5	4	6		
	6	4	6		
	7	4	6		
	8	5	5		
	9	2	8		
	10	2	8		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
B	1	2	8	0.22	0.78
	2	2	8		
	3	2	8		
	4	7	3		
	5	2	8		
	6	1	9		
	7	2	8		
	8	2	8		
	9	1	9		
	10	1	9		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
C	1	1	9	0.2	0.8
	2	2	8		
	3	3	7		
	4	1	9		
	5	2	8		
	6	3	7		
	7	1	9		
	8	3	7		
	9	2	8		
	10	2	8		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
D	1	1	9	0.19	0.81
	2	2	8		
	3	2	8		
	4	2	8		
	5	5	5		
	6	1	9		
	7	2	8		
	8	1	9		
	9	1	9		
	10	2	8		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
E	1	2	8	0.32	0.68
	2	2	8		
	3	2	8		
	4	4	6		
	5	4	6		
	6	3	7		
	7	1	9		
	8	9	1		
	9	3	7		
	10	2	8		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
F	1	2	8	0.24	0.76
	2	3	7		
	3	2	8		
	4	1	9		
	5	1	9		
	6	2	8		
	7	3	7		
	8	7	3		
	9	2	8		
	10	1	9		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
G	1	1	9	0.19	0.81
	2	2	8		
	3	1	9		
	4	1	9		
	5	3	7		
	6	3	7		
	7	3	7		
	8	2	8		
	9	1	9		
	10	2	8		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
H	1	2	8	0.17	0.83
	2	1	9		
	3	2	8		
	4	2	8		
	5	2	8		
	6	2	8		
	7	1	9		
	8	1	9		
	9	3	7		
	10	1	9		

Part	Line	Ferrite	Perlite	Total F/100	Total P/100
I	1	1	9	0.17	0.83
	2	2	8		
	3	2	8		
	4	3	7		
	5	1	9		
	6	1	9		
	7	1	9		
	8	0	10		
	9	3	7		
	10	3	7		

	Ferrite	Perlite
Average	0.23	0.774444
Percentage	22.56	77.4

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Nilai kekuatan *impact* pada sudut bevel 60° di bagian *weld* adalah sebesar 2.01 J/mm^2 dan bagian HAZ sebesar 2.08 J/mm^2 . Sudut bevel 40° memiliki nilai pada bagian *weld* sebesar 2.10 J/mm^2 dan bagian HAZ sebesar 2.13 J/mm^2 . Namun memiliki pengaruh yang jauh berbeda dengan sudut bevel 0° yaitu memiliki nilai *impact* terendah sebesar 1.72 J/mm^2 untuk bagian *weld* dan 1.13 J/mm^2 untuk bagian HAZ .
2. Kondisi optimal pengaruh sudut bevel pada kombinasi pengelasan SMAW dan FCAW *butt joint* terhadap kekuatan *impact* pada spesimen pipa API 5L Grade X42 adalah sudut 40° . Hal ini dikarenakan persentase *ferrite* pada metalografi struktur mikronya lebih banyak dibandingkan dengan sudut bevel 60° dan 0° dan juga memiliki nilai kekerasan yang rendah sehingga bersifat ulet menyebabkan nilai *impact*-nya lebih unggul. Selain itu efisiensi dalam segi penghematan waktu kerja, perkerja maupun biaya produksi lebih baik.

5.2 Saran

1. Pada Penelitian selanjutnya dapat diganti dengan material jenis lain.
2. Pengelasan yang digunakan pun bisa diganti dengan kombinasi pengelasan serta bentuk sambungan las yang lain .
3. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan variasi sudut bevel lain.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambah pengujian yang lain seperti uji tarik dan uji tekuk, dan variasi *heat input* sehingga dapat diperoleh hasil yang optimal untuk meningkatkan sifat mekanis dari jenis material API 5L grade X42.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Khotasa, M. Syujuan. 2016. **Tugas Akhir**. “Analisa Pengaruh Variasi Arus dan Bentuk Kampuh pada Pengelasan SMAW Terhadap Kekuatan *Impact* Sambungan *Butt Joint* pada Plat Baja A36”. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- API . 2004. Spesification 5L Forth Second edition, *Spesification for line pipe* .Washington: API Published Service.
- ASME section IX. 2001. “**Qualification Standard For Welding And Brazing Procedures, Welders, Brazers, And Welding And Brazing Operators**”. New York : The American Society of Mechanical Engineers New York.
- ASTM .(2008). **ASTM E23-07 Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials**. United Kingdom : SAI Global – ILI Publishing
- AWS D1.1.2000. **Structural Welding Code-Steel 17th Editon**. American National Standart Institute
- Cary, H.B., 1994, *Modern Welding Technology*. Prentice Hall : Englewood
- Gery , D., Long, H., Maropoulos, P. 2005. “Effects of welding speed, energy input and heat source distribution on temperature variations in butt joint welding”. **Journal of Materials Processing Technology. 167 : 393–401**
- Jenis Sambungan Antar Pipa, 2014. <<http://www.idpipe.com>>
- Lancaster, and Stanhope. 1996. “**Community Heaalt Nursing : Procces and Practice for Promoting Health**”. St. Louis : Mosby Company
- Okumura T, Wiryosumarto H. 1994 “**Teknologi Pengelasan Logam**”. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Pengertian Pengelasan fcaw, 2015. <<http://www.pengelasan.com/>>
- Song, J., Peters. J., Noor, A., and Michaleris, P., 2003., “ **Sensitivity Analysis of The Thermomechanical Response of Welding Joints**” Journal of Solids and Struktures 40, Hal 4167-4180.

Sonawan, Hery, Suratman R. 2003 “**Pengelasan Logam**”. Bandung

Widyanto, Nurul. 2014. “ **Analisa Pengaruh Variasi Arus dan Sudut Kampuh Pengelasan SMAW terhadap Tegangan Sisa Pengelasan dan Kekuatan Mekanis Sambungan Baja Karbon Rendah**” .Yogyakarta : Institut Sains & Teknologi AKPRIND.

Yuliadi , Zaed. 2012. “**Strategi Percepatan dan Efisiensi pengelasan dengan Desain Sudut Bevel 40° di PT PAL INDONESIA (PERSERO)**”. Surabaya : PT PAL INDONESIA (PERSERO)

Zakharov, B. 1962. *Heat Treatment of Metal*. Moscow: Peace Publisher.

BIODATA PENULIS



Rizkiyah Ramadani lahir di Sidoarjo pada 19 Februari 1994. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar di SD Islam AL-Azhar 15 Pamulang, dilanjutkan tingkat menengah pertama di SMPN 4 Tangerang Selatan dan tingkat menengah atas di SMAN 2 Tangerang Selatan. Setelah lulus SMA pada tahun 2012 penulis melanjutkan studi S-1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Selama menempuh masa studi selain aktif di bidang akademis, penulis juga aktif di berbagai kegiatan intra kampus. Kegiatan intra kampus yang penulis pernah ikuti menjadi Sekretaris Departemen Minat dan Bakat HIMATEKLA 2013/2014 lalu Kepala Divisi Keolahragaan Departemen Minat dan Bakat HIMATEKLA 2014/2015. Penulis juga aktif di kepanitiaan seperti OCEANO 2014 sebagai Sie. Acara, Pembawa Acara/ MC pada acara *The 2nd International Seminar and Coastal Engineering Environmental and Natural Disaster Management (ISOCEEN)* pada tanggal 2 Desember 2014 di Surabaya, dan berbagai kepanitiaan lain. Penulis memiliki pengalaman melakukan kerja praktek di Divisi Rekayasa Umum PT. PAL Indonesia (Persero) selama 2 bulan. Penulis pernah mengerjakan karya ilmiah dan menjadi salah satu pembicara pada *The 4th International Seminar on Environmental Engineering “Advances in Sustainable Environmental Resource Management and Sanitation Technology”* di Bali – Indonesia tanggal 25 – 26 juni 2013. Penulis mengakhiri masa kuliah dengan menulis tugas akhir yang berjudul “Analisa Pengaruh Variasi Sudut Bevel Akibat Kombinasi Pengelasan FCAW dan SMAW Terhadap Kekuatan *Impact Butt Joint* Pada Spesimen Pipa API 5L Grade X42”. Kritik dan saran untuk kelancaran penelitian ini dapat disampaikan melalui email penulis yaitu rizkiyahramadani@gmail.com.